

## فصل دوم

### شناخت قطعات الکتریکی و کار با آنها

هدف کلی: انواع مقاومت‌ها و کاربرد آنها در مدارهای الکتریکی



پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

- ۱- مقاومت الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- ۲- انواع مقاومت‌های الکتریکی را نام ببرد.
- ۳- طرز کار هر یک از مقاومت‌های متغیر وابسته به عوامل فیزیکی را به طور مختصر شرح دهد.
- ۴- نحوه‌ی تقسیم‌بندی مقاومت‌ها را از نظر ساختمان آنها شرح دهد.
- ۵- مشخصه‌های مقاومت را نام ببرد و هر یک را به اختصار توضیح دهد.
- ۶- مدار سری را شرح دهد.
- ۷- مقاومت معادل در یک مدار سری را محاسبه کند.
- ۸- افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در یک مدار سری را محاسبه کند.
- ۹- مدار موازی را شرح دهد.
- ۱۰- نحوه‌ی محاسبه‌ی مقاومت معادل در مدار موازی را محاسبه کند.
- ۱۱- جریان و ولتاژ در یک مدار موازی را محاسبه کند.
- ۱۲- نحوه‌ی اندازه‌گیری ولتاژ را شرح دهد.
- ۱۳- دستگاه اندازه‌گیری و چگونگی اندازه‌گیری جریان را شرح دهد.
- ۱۴- کاربرد اهم‌متر و طرز کار آن را شرح دهد.
- ۱۵- مقاومت، ولتاژ و جریان را در مدارهای سری و موازی به طور عملی اندازه بگیرد.
- ۱۶- قانون KVL را در مدارهای سری شرح دهد.
- ۱۷- قانون KVL را در مدارهای سری به طور عملی تحقیق کند.
- ۱۸- قانون KCL را در مدارهای موازی شرح دهد.
- ۱۹- قانون KCL را در مدارهای موازی عملاً تحقیق کند.
- ۲۰- انواع پیل‌ها را مختصراً شرح دهد.
- ۲۱- اتصال سری پیل‌ها را توضیح دهد.
- ۲۲- اتصال متقابل پیل‌ها را توضیح دهد.
- ۲۳- اتصال موازی پیل‌ها را توضیح دهد.
- ۲۴- انواع اتصال پیل‌ها را به طور عملی تجربه کند.
- ۲۵- کلیه‌ی اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول به آنها اشاره شده‌است را در این فصل نیز اجرا کند.

ساعت آموزش 35:00			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۳۵	۱۸	۱۷	۲



## پیش آزمون فصل (۲)

۸- برای اندازه گیری جریان در مدارهای الکتریکی از

..... استفاده می شود، که با سایر قطعات .... قرار می گیرد.

الف) ولت متر- سری      ب) ولت متر- موازی

ج) آمپر متر- سری      د) آمپر متر- موازی

۹- پیل های اولیه قابل شارژ نیستند.

صحیح  غلط

۱۰- پیل های قلیایی..... و نیکل- کادمیوم.....

هستند.

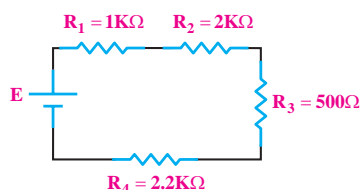
الف) اولیه- ثانویه      ب) ثانویه- اولیه

ج) اولیه- اولیه      د) ثانویه- ثانویه

۱۱- پیل ها را سری می کنند تا ولتاژ کل مدار را .....

دهند.

۱۲- مقاومت معادل شکل زیر را محاسبه کنید.



۱- واحد بار الکتریکی کولن بر ثانیه است.

صحیح  غلط

۲- تولرانس مقاومت های سری  $E_{12}$  برابر  $\pm 10\%$  است.

صحیح  غلط

۳- ترمیستوری را که تغییر مقاومت آن با افزایش دما

نسبت مستقیم دارد ..... می گویند.

۴- واریستور مقاومتی وابسته به ..... است.

الف) حرارت      ب) نور      ج) ولتاژ      د) دما

۵- مقاومت معادل در یک مدار سری، از همی

مقاومت های موجود در مدار (بزرگ تر- کوچک تر) است.

۶- کدام یک از جملات زیر صحیح نیست؟

الف) در مدار موازی، جریان شاخه ها مساوی است.

ب) در مدار موازی، توان کل مدار برابر مجموع توان های

مصرف کننده ها است.

ج) در مدار سری، ولتاژ کلیه مصرف کننده ها برابر با

ولتاژ منبع است.

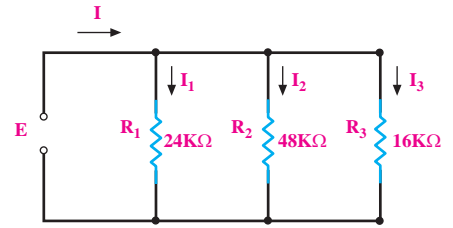
د) در مدار سری، توان کل مدار برابر مجموع توان های

مصرف کننده ها است.

۷- ساختمان داخلی ولت متر DC را شرح دهید.



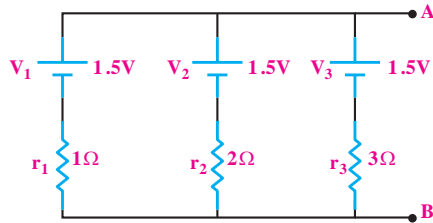
۱۳- مقاومت معادل را در شکل زیر محاسبه کنید.



۱۵- در مدار شکل زیر، مطلوب است:

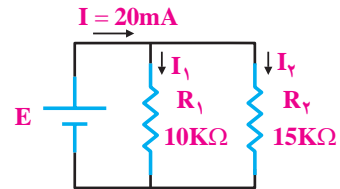
الف- کاربرد مدار

ب- مقاومت داخلی کل پیل‌ها از دو نقطه A و B.



۱۴- در مدار شکل زیر مطلوب است:

محاسبه‌ی جریان  $I_1$  و  $I_2$ .



## ۱-۲ آشنایی با مقاومت و انواع آن

«مقاومت الکتریکی» خاصیتی است که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می‌دهد. این مخالفت گاهی مانند مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط، به صورت ناخواسته و مزاحم در مدارهای الکتریکی وجود دارد و گاهی به عنوان عاملی از پیش تعیین شده به صورت یک مصرف کننده در مدارهای الکتریکی قرار می‌گیرد.

### ۱-۱-۲ انواع مقاومت‌ها

به طور کلی مقاومت‌ها را می‌توان از نظر مقدار اهمی به دو دسته ثابت و متغیر تقسیم بندی کرد. منظور از مقاومت ثابت مقاومتی است که مقدار آن در اثر حرارت، نور، میدان‌های مغناطیسی و یا سایر عوامل فیزیکی تغییر نمی‌کند. در شکل ۱-۲ دو نمونه مقاومت ثابت نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ دو نمونه مقاومت اهمی (R)

مقاومت متغیر مقاومتی است که می‌توان مقدار اهم آن را با عواملی مانند تغییر مکان یک اهرم، نور، حرارت و ولتاژ تغییر داد.

در شکل ۲-۲ یک نمونه مقاومت متغیر که مقدار آن با تغییر اهرم تغییر می‌کند را مشاهده می‌کنید. به این نوع

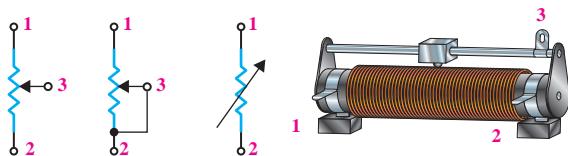
مقاومت پتانسیومتر می‌گویند.



شکل ۲-۲ یک نمونه مقاومت متغیر

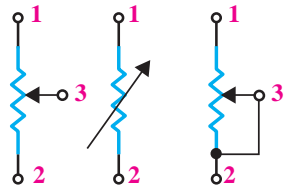
### ۲-۱-۲ رئوستا و پتانسیومتر

رئوستا و پتانسیومتر، هر دو مقاومت متغیر هستند که می‌توان با جابه‌جا کردن یا چرخاندن یک اهرم مکانیکی، مقدار مقاومت اهمی آن‌ها را تغییر داد. به مقاومت‌های متغیر سیمی بزرگ اصطلاحاً رئوستا گفته می‌شود. از این مقاومت‌ها در جریان‌های زیاد استفاده می‌کنند. در شکل ۲-۳ یک نمونه مقاومت متغیر سیمی نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ یک نمونه مقاومت متغیر سیمی و نمادهای آن

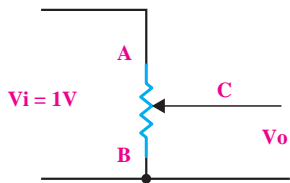
در اصطلاح به مقاومت‌های متغیر کوچک‌تر، پتانسیومتر می‌گویند. مقدار مقاومت اهمی این نوع مقاومت‌های متغیر را می‌توان با اهرمی که روی آن‌ها قرار دارد، تغییر داد. در شکل ۲-۴ نمونه‌هایی از پتانسیومتر نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۲-۴ دیده می‌شود، مقاومت‌های متغیر از نظر ابعاد و شکل ظاهری از تنوع نسبتاً زیادی برخوردارند و با مقدار مقاومت اهمی مختلف ساخته می‌شوند.



شکل ۲-۶ علامت قراردادی مقاومت متغیر

### بیشترین کاربرد مقاومت‌های متغیر در تقسیم

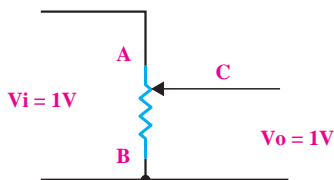
**ولتاژ است.** این روش اتصال در شکل ۲-۶ را پتانسیومتر می‌گویند. پتانسیومتر را برای تغییر حجم صدای یک وسیله‌ی صوتی به کار می‌برند. در شکل ۲-۷ با تغییر سر وسط مقاومت متغیر، می‌توان ولتاژ خروجی را از صفر تا یک ولت تغییر داد.



شکل ۲-۷ اتصال مقاومت متغیر به صورت پتانسیومتر

اگر سر وسط پتانسیومتر در وضعیت A قرار داشته‌باشد،

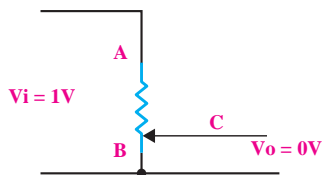
ولتاژ خروجی برابر با یک ولت می‌شود، شکل ۲-۸.



شکل ۲-۸ سر وسط پتانسیومتر در وضعیت A

اگر سر وسط پتانسیومتر در وضعیت B قرار گیرد، ولتاژ

خروجی برابر با صفر ولت می‌شود، شکل ۲-۹.

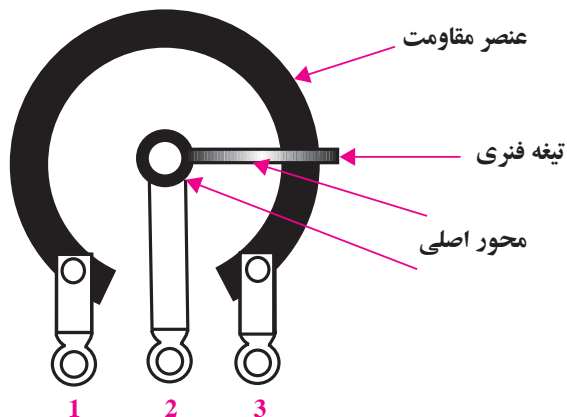


شکل ۲-۹ سر وسط پتانسیومتر در وضعیت B



شکل ۲-۴ چند نمونه پتانسیومتر پر کاربرد در الکترونیک

مقاومت متغیر سه سر دارد که مقاومت اهمی بین دو سر آن همیشه ثابت است و مقاومت اهمی سر سوم و یکی از دو سر دیگر را می‌توان با تغییر اهرم مکانیکی تغییر داد. ساختمان داخلی یک نمونه مقاومت متغیر در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. در این شکل مقاومت اهمی بین پایه ۱ و ۳ ثابت و مقاومت بین پایه ۲ و ۱ و یا ۲ و ۳ با تغییر اهرم قابل تغییر است.



شکل ۲-۵ ساختمان داخلی مقاومت متغیر

علامت قراردادی برای نمایش یک مقاومت متغیر را در

شکل ۲-۶ ملاحظه می‌کنید.



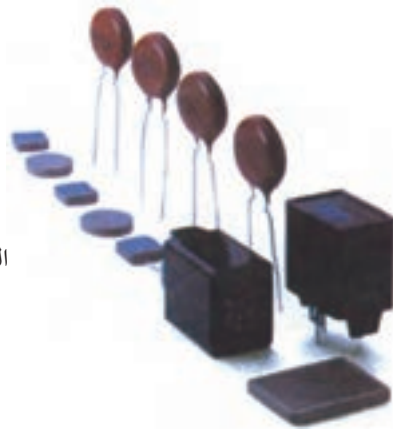
شکل ۱-۲ چند نمونه از مقاومت های NTC و علامت اختصاری آن

### • مقاومت حرارتی PTC: PTC ترمیستوری است

که در اثر افزایش دما، مقدار مقاومت آن افزایش می یابد. در شکل ۱۲-۲ چند نمونه از مقاومت های PTC و علامت اختصاری آن ها را مشاهده می کنید.



الف - علامت اختصاری



ب- شکل ظاهری

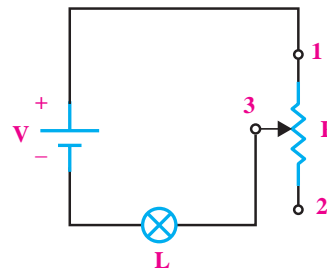
شکل ۱۲-۲ چند نمونه مقاومت های PTC همراه علامت اختصاری

### ۴-۱-۲ مقاومت وابسته به نور «فتو رزیستور»

#### (Photo Resistor)

مقدار مقاومت تابع نور (LDR) وابسته به شدت نور تابیده شده به آن است. هر قدر شدت نور بیشتر شود، مقدار مقاومت فتو رزیستور کاهش می یابد. در شکل ۱۳-۲ شکل ظاهری و علامت اختصاری این مقاومت ها نشان داده شده است.

اگر سر وسط پتانسیومتر بین A و B حرکت کند، ولتاژ خروجی بین صفر تا یک ولت تغییر می کند. روش دیگر اتصال مقاومت متغیر به مدار، اتصال به صورت رئوستا است. در حالت رئوستایی جریان مدار قابل تنظیم است. در این حالت تنها از دو پایه مقاومت متغیر استفاده می شود، شکل ۱۰-۲.



شکل ۱۰-۲ اتصال مقاومت متغیر به صورت رئوستا

هر گاه از یک پایه ثابت و پایه متغیر مقاومت متغیر استفاده شود، در اصطلاح گفته می شود که مقاومت متغیر در حالت رئوستایی قرار گرفته است.

### ۳-۱-۲ مقاومت وابسته به حرارت «ترمیسور»

#### (Thermistor – Thermally sensitive Resistor)

این مقاومت ها تابع حرارت هستند و تغییرات دما روی مقدار مقاومت آن ها اثر می گذارد.

ترمیسورها در دو نوع:

NTC (Negative Temperature Coefficient) و

PTC (Positive Temperature Coefficient) وجود دارند.

### • مقاومت حرارتی NTC:NTC ترمیستوری است

که در اثر افزایش دما، مقدار مقاومت آن کاهش می یابد. در شکل ۱۱-۲ چند نمونه مقاومت NTC و علامت اختصاری آن را مشاهده می کنید.

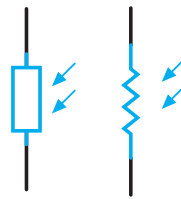
می‌نامند. تولرانس قابل قبول در مقاومت به نوع کاربرد مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی یا الکترونیکی بستگی دارد. مقاومت‌ها را در عمل با تولرانس‌های ۱۰٪ و ۵٪ می‌سازند. برای دستگاه‌های اندازه‌گیری حساس، مقاومت‌هایی با تولرانس ۲/۵٪، ۲٪، ۱٪ و ۰/۵٪ نیز وجود دارد. یک مقاومت ۱۰Ω با تولرانس ۱۰٪ مقاومتی بین ۹Ω تا ۱۱Ω دارد. اگر فرض کنیم که در مدارهای الکترونیکی تولرانس ۲۰٪ (درصد خطا) قابل قبول است و ما نیاز به یک مقاومت ۹/۵Ω داشته باشیم، می‌توانیم از یک مقاومت ۱۰Ω ± ۱۰٪ استفاده کنیم. اگر قرار باشد هر مقاومت با هر مقدار دلخواه شده بی‌نیاز زیاد می‌شوند که در عمل امکان‌پذیر نیست. ولی با پذیرش درصد خطای مجاز معینی، تعداد مقاومت‌ها از نظر مقدار به شدت کاهش می‌یابد. برای مثال اگر تولرانس ۲۰٪ را بپذیریم، در یک فاصله ده‌تایی (۱Ω تا ۱۰Ω) تعداد مقاومت‌ها به ۶ عدد کاهش می‌یابد. این ۶ مقاومت می‌توانند تمام محدوده یک تا ده اهم را با ۲۰٪ خطا پوشش دهند، (جدول ۲-۱).

جدول ۲-۱

۱	۱/۵	۲/۲	۳/۳	۴/۷	۶/۸
---	-----	-----	-----	-----	-----

در جدول ۲-۱ هر مقاومتی که لازم داشته باشیم را می‌توانیم حداکثر با ۲۰٪ کمتر یا ۲۰٪ بیشتر از یکی از اعداد جدول انتخاب کنیم. به مقاومت‌های جدول ۲-۱ مقاومت‌های سری E۶ می‌گویند. یا به عبارت دیگر در سری مقاومت‌های E۶ تولرانس مقاومت‌ها ۲۰٪ است.

اگر تولرانس را ۱۰٪ در نظر بگیریم، تعداد مقاومت‌ها مطابق سطر دوم جدول ۲-۲ در فاصله یک ده‌تایی (۱Ω تا



ب- علامت اختصاری



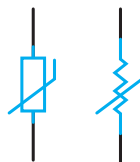
الف- شکل ظاهری

شکل ۱۳-۲ تصویر ظاهری و علامت اختصاری مقاومت LDR

## ۵-۱-۲ مقاومت وابسته به ولتاژ «واریستور»

### (Voltage Dependent Resistor)

مقاومت‌های متغیری هستند که مقدار مقاومت آن‌ها، در برابر ولتاژهای مختلف ثابت نیست و تغییر می‌کند. در این مقاومت‌ها که به VDR معروف هستند، هر قدر ولتاژ داده شده بیشتر شود، مقدار مقاومت کاهش می‌یابد، شکل ۱۴-۲.



شکل ۱۴-۲ شکل ظاهری واریستور و نماد آن

## ۲-۲ مشخصه‌های مقاومت

هر مقاومت ثابت یا متغیر، دارای مشخصه‌هایی است که به شرح تعدادی از آن‌ها می‌پردازیم.

### ۱-۲-۲ مقدار مقاومت و تولرانس

هر مقاومت، دارای یک مقدار ثابت همراه با تولرانس است. درصد خطایی که مقدار یک مقاومت دارد را تولرانس

۱۰٪ است. این سری مقاومت‌ها پرکاربردترین مقاومت‌ها در الکترونیک هستند. اگر تولرانس را ۵٪ در نظر بگیریم تعداد مقاومت‌ها در فاصله یک ده تایی ( $1\Omega$  تا  $10\Omega$ ) مطابق سطر سوم جدول ۲-۲ برابر با ۲۴ عدد می‌شود. به اعداد سطر سوم جدول ۲-۲ مقاومت‌های سری E۲۴ می‌گویند.

( $10\Omega$ ) برابر با ۱۲ عدد می‌شود. در جدول ۲-۲ هر مقاومتی را که در یک دهه لازم داشته باشیم می‌توانیم حداکثر با ۱۰٪ کمتر یا ۱۰٪ بیشتر انتخاب کنیم. به مقاومت‌های سطر دوم جدول ۲-۲ سری E۱۲ می‌گویند. به عبارت دیگر در سری مقاومت‌های E۱۲، تولرانس

جدول ۲-۲ جدول سری های استاندارد مقاومت

IEC-Series	E6	1.0		1.5		2.2		3.3		4.7		6.8												
	E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.8	6.8	8.2											
	E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.5	6.2	6.8	7.5	8.2

به جای ممیز نیز به کار می‌رود.

اعداد جدول ۲-۱ و ۲-۲ را اعداد پایه می‌گویند.

با تقسیم کردن این اعداد بر ۱۰، ۱۰۰ یا ضرب کردن آن‌ها در ۱۰، ۱۰۰، ۱K، ۱۰K، ۱۰۰K یا ۱M مقاومت‌های جدیدی به دست می‌آید. مثلاً برای عدد ۲/۲ مقاومت‌هایی مانند  $22\Omega$ ،  $0.22\Omega$ ،  $220\Omega$ ،  $2.2K$ ،  $22K$ ،  $220K$ ،  $2.2M$  و  $22M$  ساخته می‌شود.

جدول ۲-۳ حروف اختصاری تولرانس برای مقاومت‌های سیمی

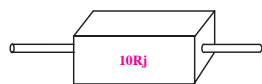
حروف اختصاری	J	K	M
مقدار تولرانس	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

برای آشنایی بیشتر با این روش به ذکر چند مثال

می‌پردازیم.

**مثال ۱:** مقدار مقاومت و تولرانس مقاومت‌های نشان داده

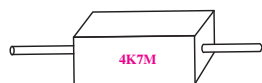
شده در شکل ۱۶-۲ چه قدر است؟



الف  $10Rj = 10\Omega \pm 5\%$



ب  $33kk = 33K\Omega \pm 10\%$



ج  $4K7M = 4.7K\Omega \pm 20\%$

شکل ۱۶-۲ سه نمونه مقاومت

**ج:** مقدار مقاومت و تولرانس آن را با استفاده از نوارهای

رنگی روی بدنه مقاومت مشخص می‌کنند. نوارهای رنگی

مقدار اهمی و تولرانس یک مقاومت را معمولاً به سه

صورت مشخص می‌کنند.

**الف:** مقدار مقاومت و تولرانس را مستقیماً روی مقاومت

می‌نویسند. شکل ۱۵-۲ یک نمونه این نوع مقاومت‌ها را نشان

می‌دهد.



شکل ۱۵-۲ مقدار مقاومت و تولرانس آن مستقیماً روی مقاومت نوشته می‌شود.

**ب:** مقدار مقاومت را مستقیماً می‌نویسند و به جای

واحد اهم از حرف R و به جای تولرانس طبق جدول ۲-۳ از

حروف J، K، M استفاده می‌کنند. در ضمن حروف R اهم،

K (کیلو اهم) و M (مگا اهم)، علاوه بر نمایش مقدار مقاومت،



### توجه

در مقاومت‌هایی که دارای چهار نوار رنگی هستند:



۱- اگر حلقه‌ی رنگی چهارم وجود نداشته باشد (بدون رنگ)، مقدار تولرانس ۲۰٪ است.

۲- نوار رنگی سیاه به عنوان حلقه‌ی اول و حلقه‌ی چهارم به کار نمی‌رود.

را معمولاً برای مقاومت‌های کوچک که امکان نوشتن و خواندن مقاومت به طور مستقیم بر روی آن وجود ندارد به کار می‌برند. تعداد نوارهای رنگی چهار یا پنج عدد است. در مقاومت‌های با چهار نوار رنگی، مطابق شکل ۱۷-۲، رنگ نوار اول و دوم نماد اعداد صحیح و رنگ نوار سوم نماد ضریب و رنگ نوار چهارم نماد تولرانس مقاومت است. در مقاومت‌های با ۵ نوار رنگی، رنگ نوار اول و دوم و سوم نماد اعداد صحیح، رنگ نوار چهارم نماد ضریب و رنگ نوار پنجم نماد تولرانس است.

### توجه

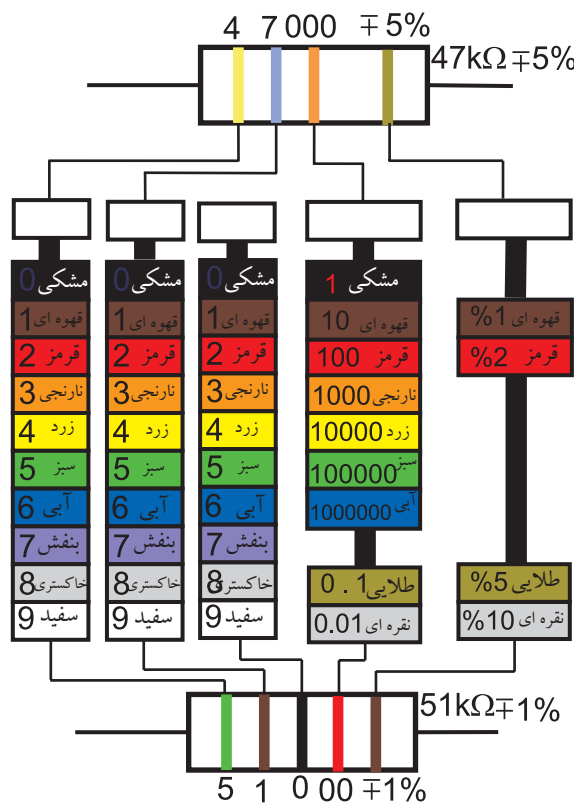
در مقاومت‌هایی که دارای پنج نوار رنگی هستند:



۱- اگر حلقه‌ی رنگی پنجم وجود نداشته باشد (بدون رنگ)، مقدار تولرانس ۲۰٪ است.

۲- نوار رنگی سیاه به عنوان حلقه‌ی اول و حلقه‌ی پنجم به کار نمی‌رود.

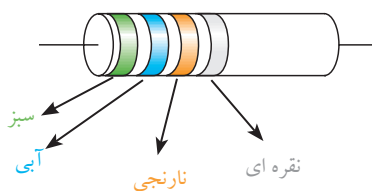
در شکل ۱۷-۲ چگونگی خواندن مقاومت‌های با چهار نوار رنگی و پنج نوار رنگی نشان داده شده است.



شکل ۱۷-۲ تعیین مقدار و تولرانس مقاومت‌ها با کد ۴ نوار رنگی و ۵ نوار رنگی

برای آشنایی بیشتر با روش خواندن کد رنگی مقاومت‌ها به ذکر چند مثال می‌پردازیم.

**مثال ۲:** در شکل ۱۸-۲ مقدار مقاومت و تولرانس آن چقدر است؟



شکل ۱۸-۲

حل:

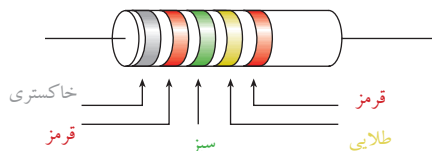
نقره ای - نارنجی - آبی - سبز

$$R = 5 \ 6 \ 000 \ \times 10^3$$

$$R = 56000 \ \Omega \pm 10\%$$

مثال ۳: در شکل ۱۹-۲ مقدار مقاومت اهمی و تولرانس

آن چقدر است؟



شکل ۱۹-۲

حل:

قرمز - طلایی - سبز - قرمز - خاکستری

$$R = 8 \ 2 \ 5 \ 0 \times 10^3$$

$$R = 82500 \ \Omega \pm 2\%$$

### ۲-۲-۲ توان مجاز مقاومت

وقتی از یک مقاومت جریانی عبور می کند، مقاومت گرم می شود. به عبارت دیگر مقداری توان در آن تلف می شود. هر مقاومت با توجه به ابعاد فیزیکی خود می تواند توان معینی را تحمل کند. به عبارت دیگر یک مقاومت را برای تحمل توان معینی می سازند. بنابر این توان تلف شده در یک مقاومت نباید از مقدار تعیین شده توسط کارخانه سازنده بیشتر شود. در غیر این صورت ممکن است مقاومت آسیب ببیند. مقاومت ها را با توان های  $(\frac{1}{4} W)$ ،  $0,25W$ ،  $(\frac{1}{2} W)$ ،  $0,5W$ ،  $1W$ ،  $2W$ ،  $5W$  و  $10W$  و بالاتر می سازند. ماکزیمم مقدار توان مجاز به عوامل گوناگونی مانند ولتاژ، جریان و دمای محیط بستگی دارد.

### ۳-۲-۲ ضریب حرارتی

آن چه که در مورد مشخصات مقاومت گفته شد، در دمای اتاق صادق است. اما در دماهای کم تر یا بیش تر، معمولاً مقدار مقاومت کلیه اجسام تغییر می کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت اجسام مختلف متفاوت است.

بنابراین باید برای هر جسم ضریبی را تعریف کرد که آن را «ضریب حرارتی» می نامند. تغییرات مقاومت در برابر تغییر یک درجه سانتی گراد را، **ضریب حرارتی** می نامند و آن را با « $\alpha$ » نمایش می دهند.

برای مثال اگر  $\alpha = 0,004$  باشد، یعنی این که مقاومت این جسم در برابر تغییر یک درجه سانتی گراد،  $0,004$  اهم افزایش یا کاهش می یابد.

اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی « $\alpha$ » مثبت است. در صورتی که در اثر حرارت مقدار مقاومت کاهش یابد، ضریب حرارتی « $\alpha$ » منفی است.

### ۳-۲-۱ اهم متر

برای اندازه گیری مقاومت اهمی، از دستگاهی به نام اهم متر (مقاومت سنج) استفاده می شود. در شکل ۲۰-۲ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی نشان داده شده است. این نوع اهم مترها، معمولاً در دسترس همگان قرار ندارد و بیش تر به صورت آزمایشگاهی ساخته می شود.

برای اندازه گیری مقاومت با اهم متر، کافی است که ابتدا به کمک سیم رابط، دو پایانه (ترمینال) محل اتصال مقاومت اهمی را به هم اتصال کوتاه کنیم و ولوم تنظیم صفر را طوری تنظیم کنیم که عقربه روی عدد صفر قرار گیرد. سپس سیم های رابط را جدا و مقاومت اهمی را به دو سر آن وصل

اهم‌ترهایی که در دسترس همگان قرار دارد به صورت فقط اهم‌تر نیست بلکه ترکیبی از میلی‌آمپر‌تر و ولت‌تر و اهم‌تر است. به این دستگاه مولتی‌تر یا آومتر می‌گویند. بعضی از مولتی‌ترها علاوه بر اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی، کمیت‌های دیگری مانند فرکانس و ظرفیت خازن را نیز اندازه می‌گیرند.

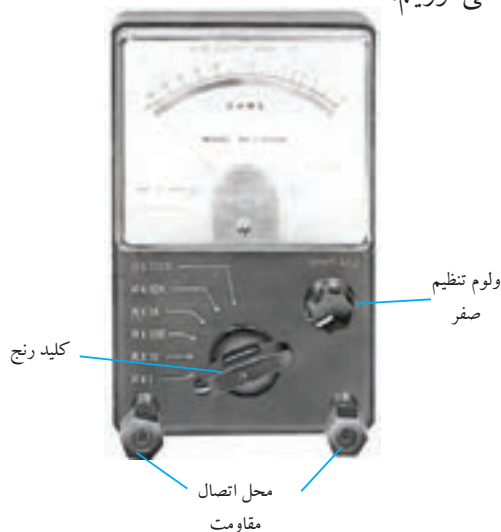
در شکل ۲۲-۲ یک نمونه مولتی‌تر عقربه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۲۲-۲ یک نمونه مولتی‌تر عقربه‌ای (آنالوگ)

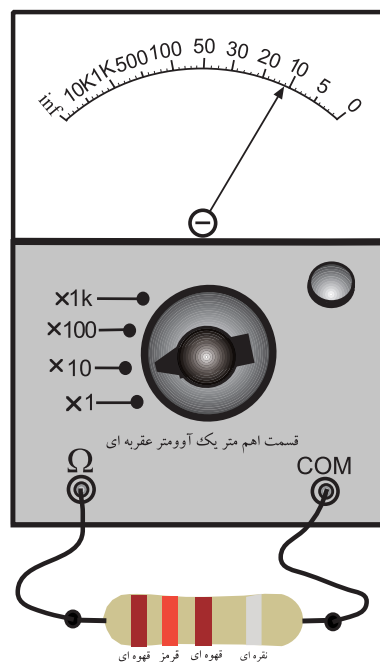
هر مولتی‌تر دارای تعدادی کلید سلکتور دورانی یا کشویی است. با تنظیم این کلیدها می‌توان از دستگاه به عنوان ولت‌تر، آمپر‌تر یا اهم‌تر مستقل استفاده کرد. برای خواندن مقادیر ولتاژ و جریان می‌توانیم از ضریب ثابت سنجش استفاده کنیم. در شکل ۲۳-۲ یک نمونه مولتی‌تر عقربه‌ای را مشاهده می‌کنید.

کنیم. عقربه مقداری را نشان می‌دهد، آن مقدار را در عدد کلید رنج حوزه کار ضرب می‌کنیم و مقدار مقاومت را به دست می‌آوریم.



شکل ۲۰-۲ یک نمونه اهم‌تر آزمایشگاهی

در شکل ۲۱-۲ کلید رنج اهم‌تر روی  $\times 10$  قرار دارد و عقربه عدد ۱۲ را نشان می‌دهد. بنابراین مقدار مقاومت برابر با  $12 \times 10 = 120 \Omega$  است.



شکل ۲۱-۲ اهم‌تر مقدار مقاومت را  $120 \Omega$  نشان می‌دهد.

به انتخاب رنج ندارند. برای اندازه گیری ولتاژ، کلید سلکتور اصلی را روی رنج ولتاژ (V) قرار می دهیم و ولتاژ را بدون توجه به مقدار آن به پایانه های مربوط به ولتاژ وصل می کنیم. برای اندازه گیری مقاومت، کلید سلکتور اصلی را روی حوزه کار (رنج) اهم ( $\Omega$ ) قرار می دهیم و پایانه های مولتی متر را به مقاومت اتصال می دهیم. در این حالت، مقاومت همراه با واحد آن روی صفحه نمایش (Display) مولتی متر نشان داده می شود. در شکل ۲۵-۲ یک نمونه دیگر مولتی متر دیجیتالی را مشاهده می کنید.



شکل ۲۳-۲ یک نمونه مولتی متر عقربه ای (آنالوگ)

نوع دیگری از مولتی مترها که امروزه به فراوانی در دسترس عموم قرار دارد، مولتی متر دیجیتالی است. در مولتی متر دیجیتالی به جای حرکت عقربه، مقادیر به صورت رقم و عدد روی صفحه نمایش نوشته می شود و علاوه بر عدد معمولاً واحد کمیت نیز قابل مشاهده است. در شکل ۲۴-۲ دو نمونه مولتی متر دیجیتالی نشان داده شده است.



شکل ۲۵-۲ یک نمونه دیگر از مولتی متر دیجیتالی

### نکته: هنگام اندازه گیری ولتاژ توسط



مولتی متر دیجیتالی باید به مقدار مجاز ولتاژ که توسط کارخانه سازنده داده می شود توجه کنید. مثلاً چنانچه مقدار ماکزیمم قابل اندازه گیری توسط دستگاه ۱۰۰۰ ولت است، نباید آن را به ولتاژ بیش تر از ۱۰۰۰ ولت متصل نمایید.



شکل ۲۴-۲ دو نمونه مولتی متر دیجیتالی

اکثر مولتی مترهای دیجیتالی دارای حوزه کار (رنج) خودکار اتوماتیک) برای ولتاژ و مقاومت اهمی هستند. به این معنی که برای اندازه گیری ولتاژ یا مقاومت اهمی، نیاز

حفاظت از دستگاه های اندازه گیری و استفاده بهینه از آن ها، عامل مؤثر در حفاظت از ثروت ملی است.

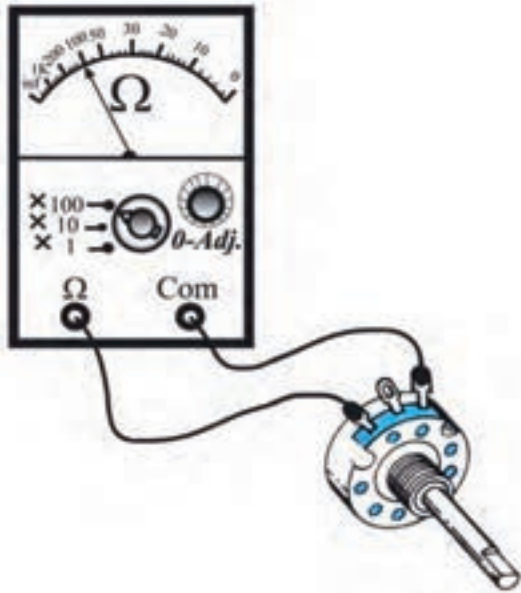
## ۴-۲ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

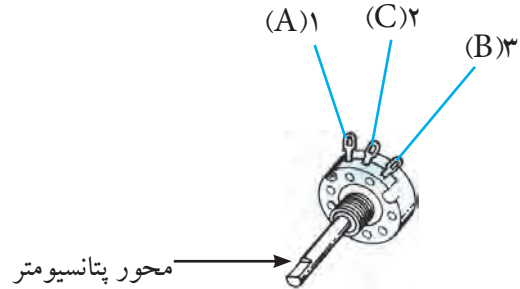
### ۴-۲-۱ هدف آزمایش:

تحلیل عملی رفتار مقاومت‌های متغیر، وابسته به نور و

وابسته به حرارت در فضای آزمایشگاهی



شکل ۲۷-۲ اندازه‌گیری مقاومت متغیر



شکل ۲۶-۲ یک نمونه مقاومت متغیر

### ۴-۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه ۰-۱۵ V	یک دستگاه
۲	مولتی متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۳	هویه قلمی	یک دستگاه
۴	مقاومت متغیر $10k\Omega$	یک عدد
۵	مقاومت وابسته به نور (LDR)	یک عدد
۶	مقاومت وابسته به حرارت (PTC یا NTC)	یک عدد
۷	سیم رابط یک سر گیره دار	شش رشته
۸	سیم رابط تلفنی	دو رشته

### ۴-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

#### موضوع الف- بررسی تغییرات مقاومت اهمی

##### مقاومت متغیر

وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ مقدار مقاومت بین دو پایه ۱ و ۳ را مطابق شکل

۲-۲۷ با اهم متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

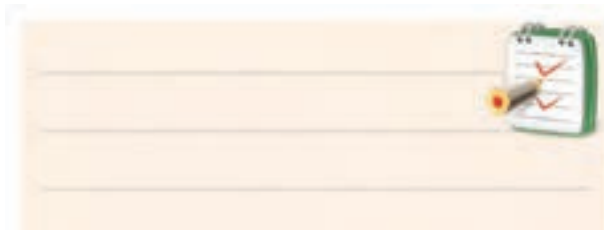
$$R_{AB} = \dots\dots\dots K\Omega$$

### سوال ۱: هنگامی که مقاومت بین پایه‌ی ۱ و ۳ را با

اهم متر اندازه می‌گیرید، محور مقاومت متغیر را بچرخانید؛

آیا مقاومت اهمی در این حالات تغییر می‌کند؟ چرا؟ توضیح

دهید.

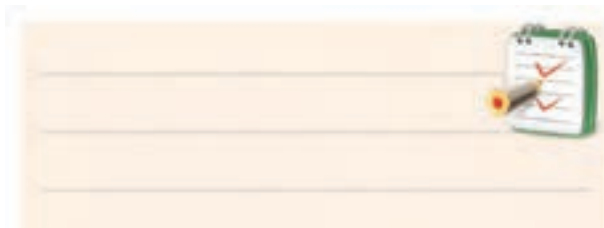


■ پایه‌ی ۲ و ۳ مقاومت متغیر را مطابق شکل ۲۸-۲ به اهم

متر وصل کنید. محور مقاومت متغیر را در جهت عقربه‌های

ساعت تا آخر بچرخانید. مقاومتی را که اهم متر نشان می‌دهد،

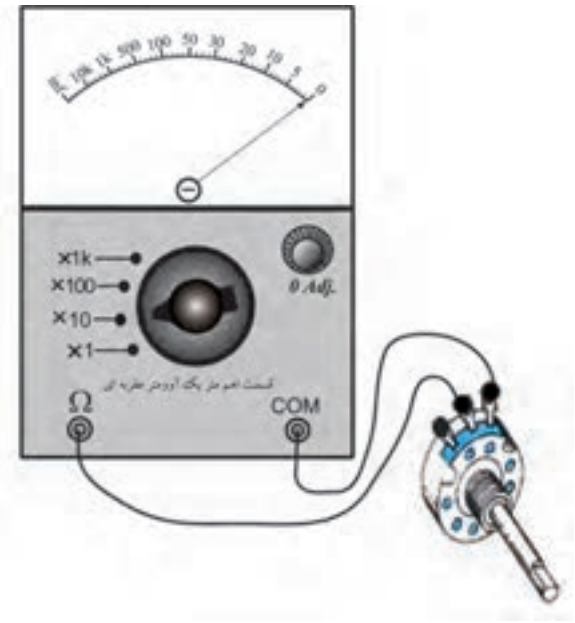
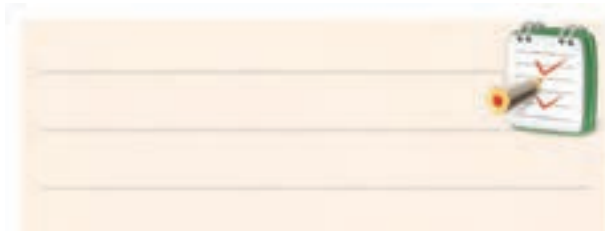
بخوانید و مقدار آن را یادداشت کنید.



مقاومت بین پایه‌ی ۲ و ۳ هنگامی که محور مقاومت متغیر در خلاف جهت عقربه‌های ساعت تا آخر چرخیده است.

$R = \dots\dots\dots \Omega$

**سوال ۲:** آیا مقدار اهمی مقاومت متغیر با تغییر محور مقاومت متغیر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت تفاوت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.



شکل ۲۸-۲ اندازه‌گیری مقاومت پایه‌های ۲ و ۳ مقاومت متغیر

مقاومت بین پایه‌ی ۲ و ۳ در حالتی که محور مقاومت متغیر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به طور کامل چرخیده است.

$R = \dots\dots\dots \Omega$

■ محور پتانسیومتر را تقریباً تا وسط بچرخانید و مقدار مقاومتی را که اهم متر نشان می‌دهد، بخوانید و یادداشت کنید.

مقاومت بین پایه‌ی ۲ و ۳ در حالتی که محور مقاومت متغیر تا وسط چرخیده است.

$R = \dots\dots\dots \Omega$

■ مقاومت متغیر را در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت تا آخر بچرخانید و مقاومتی را که اهم متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

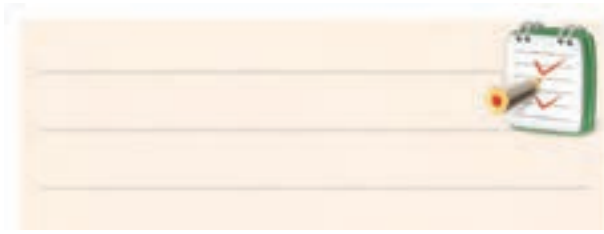
**توجه**

در این آزمایش نوع مقاومت‌های وابسته‌ی VDR، LDR، PTC و NTC تعیین نشده است. نوع قطعات با توجه به امکانات هنرستان و بازار تعیین می‌شود.

**موضوع ب- بررسی اثر تغییرات حرارت روی مقاومت اهمی وابسته به حرارت (PTC یا NTC)**

- یک هویه قلمی را در اختیار بگیرید.
- مقاومت آن را در حالی که سرد است با استفاده از اهم‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$R = \dots\dots\dots \Omega$  هویه سرد



## موضوع ج- اثر تغییر نور روی مقدار اهمی

### مقاومت وابسته به نور (LDR)

■ اهم متر را به دو سر یک نمونه مقاومت وابسته به نور (LDR) وصل کنید.

■ مقدار اهمی مقاومت را بخوانید و یادداشت کنید.

$$R_{LDR} = \dots\dots\dots \Omega \text{ در نور زیاد}$$

■ سطح LDR را کمی بپوشانید و مقدار نور تابیده شده به LDR را کاهش دهید.  
■ اهم متر را مجدداً به دو سر LDR وصل کنید و مقدار مقاومت را بخوانید و یادداشت کنید.

$$R_{LDR} = \dots\dots\dots \Omega \text{ در نور کم}$$

■ سطح LDR را کاملاً بپوشانید.  
■ نور تابیده به LDR را کاملاً قطع کنید.  
■ مقدار مقاومت LDR را در حالت تاریکی کامل با وصل کردن اهم متر به آن بخوانید و یادداشت کنید.

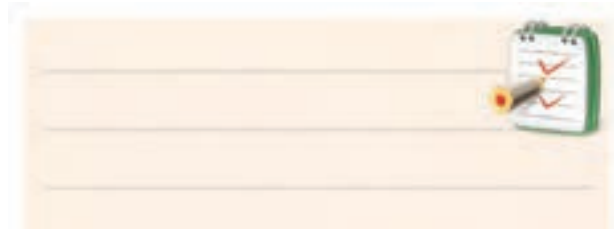
$$R_{LDR} = \dots\dots\dots \Omega \text{ در تاریکی}$$

■ هویه را به برق وصل کنید و مدتی صبر کنید تا گرم شود.

■ مقدار مقاومت هویه را در حالت گرم با کمک اهم متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R = \dots\dots\dots \Omega \text{ هویه گرم}$$

**سوال ۳:** مقدار مقاومت‌ها را با هم مقایسه کنید. آیا در اثر گرما مقدار مقاومت زیاد شده است؟ شرح دهید.



■ یک مقاومت NTC را انتخاب کنید.

■ اهم متر را به دو سر مقاومت NTC وصل کنید.

■ مقدار مقاومت اهمی NTC سرد را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{NTC} (\text{سرد}) = \dots\dots\dots \Omega$$

■ هویه را به برق وصل کنید و مدتی صبر کنید تا گرم شود.

■ هویه را به مقاومت NTC نزدیک نمایید ولی به آن نچسبانید.

■ با استفاده از اهم متر مقدار مقاومت NTC را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{NTC} (\text{گرم}) = \dots\dots\dots \Omega$$

**سوال ۴:** مقادیر مقاومت NTC در دو حالت گرم و سرد

را با هم مقایسه کنید و درباره‌ی آن توضیح دهید.

سوال ۵: مقدار مقاومت LDR با تغییر شرایط نوری چه

تغییری می کند؟ شرح دهید.



## ۵-۲ اتصال مقاومت‌ها به یکدیگر

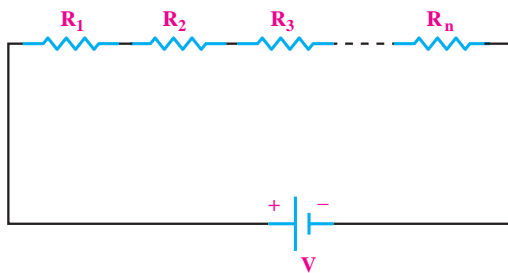
### ۵-۲-۱ سری بستن مقاومت‌ها:

اگر در یک مدار الکتریکی دو یا چند مصرف کننده به گونه‌ای به هم بسته شوند که جریان عبوری از هر یک از آنها یکسان باشد، می‌گوییم مصرف کننده‌ها با هم سری بسته شده‌اند. مصرف کننده‌ها می‌توانند مقاومت‌های مساوی یا غیر مساوی نیز باشند. در شکل ۲۹-۲ دو عدد لامپ با یکدیگر به صورت سری بسته شده‌اند.



شکل ۲۹-۲ مدار واقعی دو لامپ به صورت سری

در یک مدار سری، مقاومت‌ها (مصرف کننده‌ها) طوری به هم متصل می‌شوند که انتهای مقاومت اول به ابتدای مقاومت دوم و انتهای مقاومت دوم به ابتدای مقاومت سوم وصل می‌شود و به همین ترتیب تا آخرین مقاومت ادامه می‌یابد، شکل ۳۰-۲.



شکل ۳۰-۲ نقشه‌ی فنی مدار سری

### ۴-۴-۲ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.

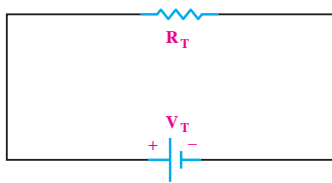
الف -

ب -

ج -

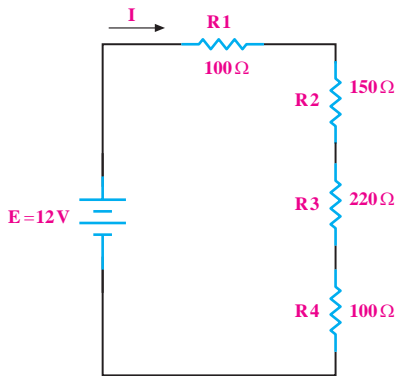


شکل ۲-۳۳ مدار معادل شکل ۲-۳۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۳ مدار معادل شکل ۲-۳۲

**مثال ۴:** مقاومت معادل در شکل ۲-۳۴ چند اهم است؟



شکل ۲-۳۴

**حل:**

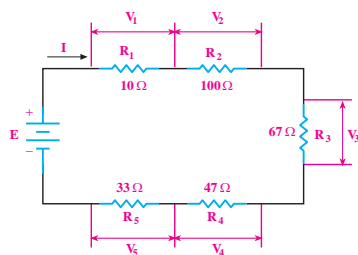
رابطه مقاومت‌ها را می‌نویسیم:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم:

$$R_T = 100 + 150 + 220 + 100 \quad R_T = 570 \, \Omega$$

**مثال ۵:** مقاومت معادل در شکل ۲-۳۵ چند اهم است؟



شکل ۲-۳۵

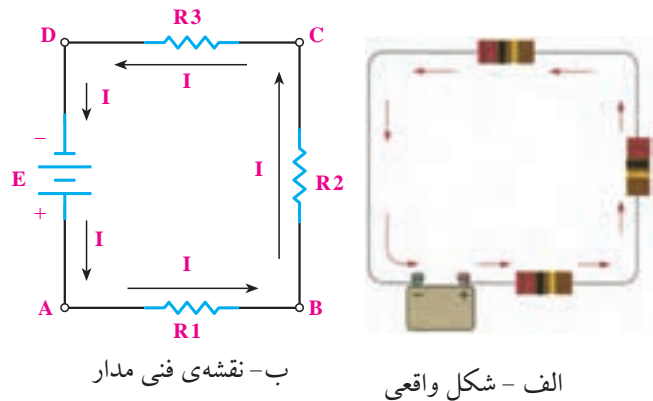
**توجه**

ابتدا و انتهای مقاومت انتخابی است و توسط ما انتخاب می‌شود.



در مدار سری فقط یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی

وجود دارد، شکل ۲-۳۱.



شکل ۲-۳۱

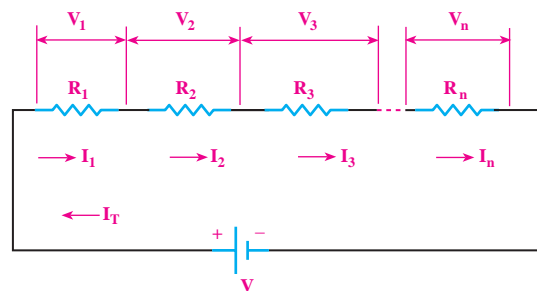
**مقاومت معادل در مدار سری:**

- مقاومت کل در مدار سری برابر با مجموع مقاومت‌های

مدار است، شکل ۲-۳۲.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$



شکل ۲-۳۲ جریان‌ها و ولتاژها در مدار سری

همیشه می‌توانیم مقاومت معادل  $R_T$  را جایگزین کلیه

مقاومت‌های سری موجود در مدار نماییم.

**حل:**

رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار سری را می‌نویسیم:

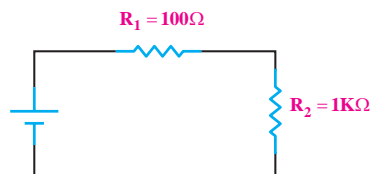
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم:

$$R_T = 10 + 100 + 67 + 47 + 33 \quad R_T = 257 \Omega$$

**مثال ۶:** مقاومت معادل دو مقاومت سری شکل ۲-۳۶

چند اهم است؟



شکل ۲-۳۶

**حل:**

$$R_T = R_1 + R_2$$

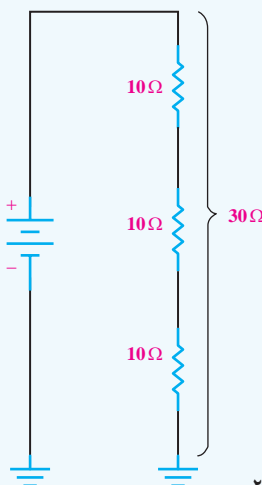
$$R_T = 100(\Omega) + (1 \times 1000)(\Omega) \Rightarrow R_T = 1100 \Omega$$



**نکته:** هرگاه چند مقاومت مساوی به صورت

سری به یکدیگر اتصال یابند، مقدار مقاومت معادل از حاصل ضرب تعداد مقاومت‌ها در مقدار یک مقاومت به دست می‌آید، شکل ۲-۳۷.

$$R_1 = R_2 = R_3 = R \Rightarrow R_T = n.R$$

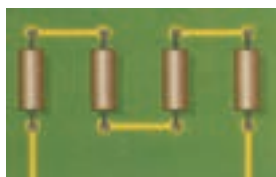


شکل ۲-۳۷

**مثال ۷:** در صورتی که چهار مقاومت ۳۳ اهمی مانند

شکل ۲-۳۸ به هم اتصال یابند، مقاومت معادل مدار چند اهم

است؟



شکل ۲-۳۸ اتصال چهار مقاومت مساوی

به صورت سری روی برد مدار چاپی

**حل:**

با توجه به شکل ۲-۳۸ مدار به صورت سری است

و مقاومت‌ها از نظر مقدار با هم برابر هستند پس می‌توانیم

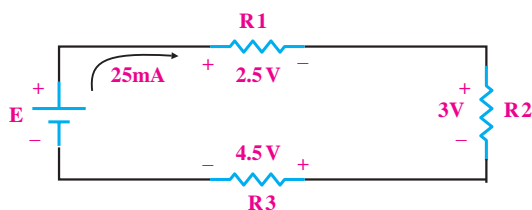
بنویسیم:

$$R_T = n.R$$

$$R_T = 4 \times 33 \Rightarrow R_T = 132 \Omega$$

**مثال ۸:** با توجه به شکل ۲-۳۹ مقدار مقاومت هر یک از

مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_3$  را حساب کنید.



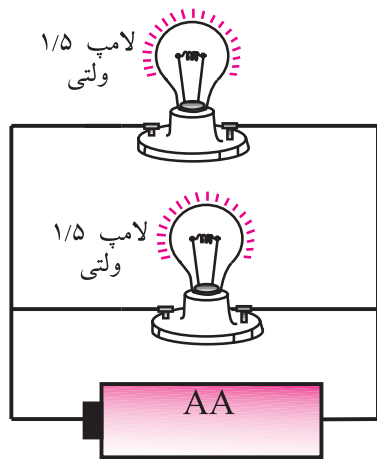
شکل ۲-۳۹ محاسبه مقادیر مجهول در مدار سری و تحقیق قانون اهم

**حل:**

در این مدار، جریان کل و ولتاژ دو سر هر یک از

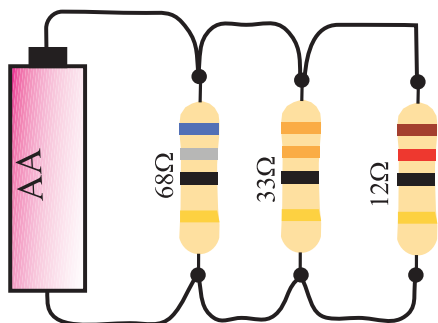
مقاومت‌ها را داریم. با استفاده از قانون اهم، مقدار هر مقاومت

را محاسبه می‌کنیم.

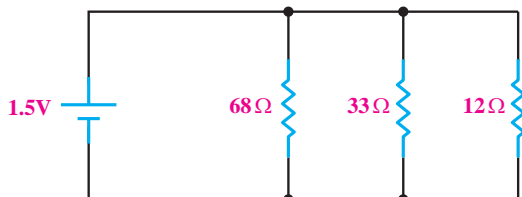


شکل ۲-۴۱ مدار موازی

شکل ۲-۴۲، سه عدد مقاومت را که به صورت موازی بسته شده اند نشان می دهد. برای بیان محاسبات مدار، به جای استفاده از تصاویر واقعی از نقشه ی فنی استفاده می کنند. در نقشه ی فنی به جای هر قطعه، از علامت قرار دادی یا نماد آن قطعه استفاده می کنند. در شکل ۲-۴۳ نقشه ی فنی مدار شکل ۲-۴۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۴۲ سه عدد مقاومت با یکدیگر موازی شده اند



شکل ۲-۴۳ نقشه ی فنی مدار شکل ۲-۴۲

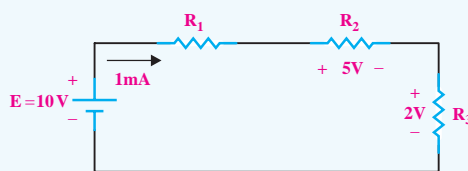
$$R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{2/5V}{25mA} \Rightarrow R_1 = 100\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I} = \frac{3V}{25mA} \Rightarrow R_2 = 120\Omega$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I} = \frac{4/5V}{25mA} \Rightarrow R_3 = 180\Omega$$

**تمرین کلاسی ۱:** مقدار مقاومت هر یک

از مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_3$  را در شکل ۲-۴۰ به دست آورید.



شکل ۲-۴۰

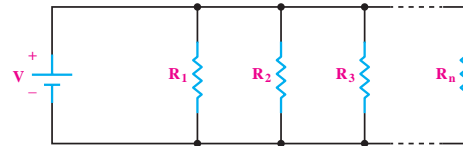
## ۲-۵-۲ موازی بستن مقاومت ها

### تعریف مدار موازی

اگر در یک مدار الکتریکی، دو یا چند مصرف کننده طوری به هم متصل شوند که ولتاژ دو سر آنها با هم برابر باشد، می گوئیم مصرف کننده ها با هم به صورت موازی بسته شده اند. شکل ۲-۴۱ دو عدد لامپ ۱/۵ ولتی را نشان می دهد که با یکدیگر موازی بسته شده اند.

### مقاومت معادل در یک مدار موازی

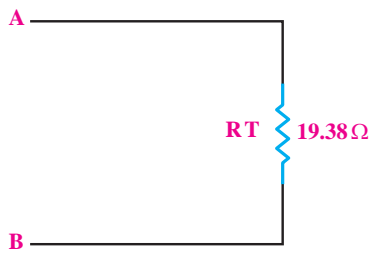
برای محاسبه مقاومت معادل در مدار موازی نشان داده شده در شکل ۲-۴۴ از رابطه‌ی  $R_T$  که در زیر آمده است، استفاده می‌کنیم.



شکل ۲-۴۴ بررسی معادل در مدار موازی

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

در شکل ۲-۴۶ مقاومت معادل  $R_T$  و  $R_p$  آمده است.



شکل ۲-۴۶

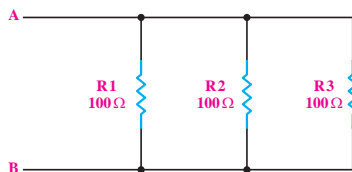
مقاومت‌های موازی را با «||» نشان می‌دهند، مثلاً مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  که موازی هستند را به صورت  $R_1 || R_2$  می‌نویسند.

### مثال ۹: مقاومت معادل $R_T$ را در مدار شکل ۲-۴۵

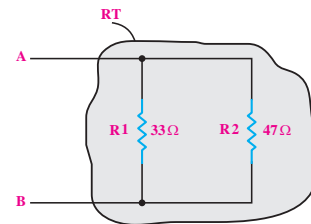
به دست آورید.

**مثال ۱۰:** مقاومت کل  $R_T$  را از دو نقطه‌ی A و B در

مدار شکل ۲-۴۷ به دست آورید.



شکل ۲-۴۷



شکل ۲-۴۵

**حل:**

رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار موازی را می‌نویسیم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم و مقدار  $R_T$  را به دست

می‌آوریم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{1+1+1}{100} = \frac{3}{100}$$

$$R_T = \frac{100}{3} = 33 \frac{1}{3} \Omega$$

**حل:**

رابطه‌ی مقاومت معادل موازی را می‌نویسیم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم و مقدار  $R_T$  را به دست

می‌آوریم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{33} + \frac{1}{47} = \frac{47+33}{33 \times 47} = \frac{80}{1551}$$

$$R_T = \frac{1551}{80} = 19 \frac{3}{8} \Omega$$

### توجه

اگر در مدار موازی، فقط دو عدد مقاومت اهمی وجود داشته باشد، برای به دست آوردن مقاومت معادل آن، از رابطه‌ی زیر نیز می‌توانیم استفاده کنیم.

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



### توجه

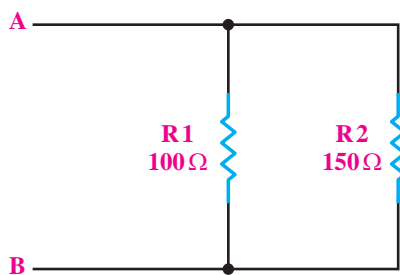
اگر  $n$  مقاومت مساوی با یکدیگر به صورت موازی بسته شده باشند، برای به دست آوردن مقاومت معادل  $R_T$ ، مقدار یک مقاومت را به  $n$  تقسیم می‌کنیم.

$$R_T = \frac{R}{n}$$



**مثال ۱۲:** مقاومت معادل  $R_T$  را در مدار شکل ۲-۴۹

به دست آورید.



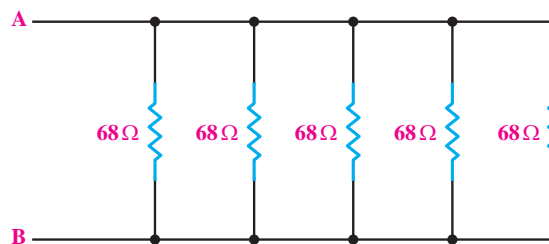
شکل ۲-۴۹

**حل:**

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \times 150}{100 + 150} = \frac{15000}{250} = 60 \Omega$$

**مثال ۱۱:** در شکل ۲-۴۸، پنج عدد مقاومت  $68 \Omega$  با

یکدیگر به صورت موازی بسته شده‌اند. مقاومت معادل را در این مدار به دست آورید.



شکل ۲-۴۸

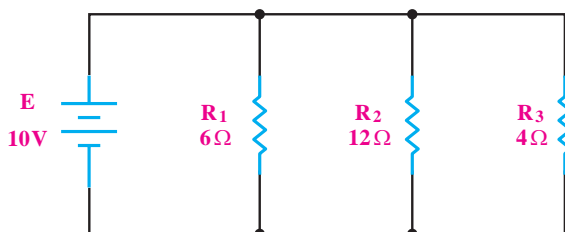
**حل:**

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{68}{5} = 13 \frac{2}{5} \Omega$$

$$R_T = 13 \frac{2}{5} \Omega$$

**مثال ۱۳:** مقاومت معادل را در مدار شکل ۲-۵۰ به

دست آورید.



شکل ۲-۵۰

حل:

مقاومت‌ها موازی هستند، رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار

موازی را می‌نویسیم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم و مقدار  $R_T$  را به دست می‌آوریم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} = \frac{2+1+3}{12} = \frac{6}{12}$$

$$R_T = \frac{12}{6} = 2\Omega$$



### تحقیق کنید: اتصال مصرف کننده ها به

برق در سیم کشی داخل خانه، سری است یا موازی؟ با ذکر دلیل نتایج را به کلاس ارائه دهید.

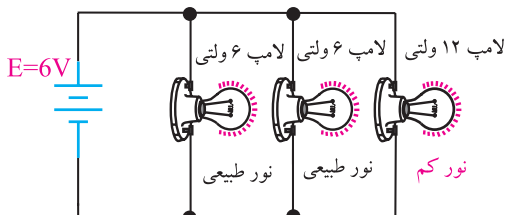
### ۳-۵-۲ به هم بستن مقاومت‌ها به صورت ترکیبی «سری-

موازی»

#### تعریف مدار سری- موازی

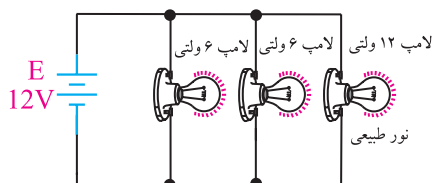
فرض کنید دو عدد لامپ ۶ ولتی یک وات و یک عدد لامپ ۱۲ ولتی یک واتی داریم، می‌خواهیم هر سه لامپ را با یک منبع تغذیه روشن کنیم. حالات زیر اتفاق می‌افتد:

- هر سه لامپ را به صورت موازی ببندیم و به منبع ۶ ولت وصل کنیم. در این صورت لامپ‌های ۶ ولتی نور طبیعی دارند ولی لامپ ۱۲ ولت، نور طبیعی ندارد زیرا ولتاژ تغذیه‌ی آن کم‌تر از ۱۲ ولت است، شکل ۲-۵۲.



شکل ۲-۵۲ نور لامپ ۱۲ ولتی کم است

- هر سه لامپ را به صورت موازی ببندیم و به منبع ۱۲ ولت وصل کنیم. در این صورت لامپ ۱۲ ولتی دارای نور طبیعی است، ولی لامپ‌های ۶ ولتی هر دو می‌سوزند. زیرا به دو سر آنها ولتاژ ۱۲ ولت، بیش‌تر از ولتاژ تغذیه وصل شده است، شکل ۲-۵۳.

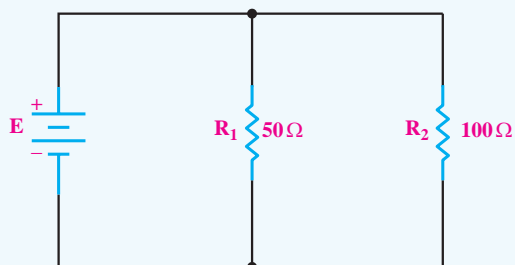


شکل ۲-۵۳ در این مدار لامپ‌های ۶ ولتی می‌سوزند.



#### تمرین کلاسی ۲: مقدار مقاومت معادل

را در شکل ۲-۵۱ به دست آورید.



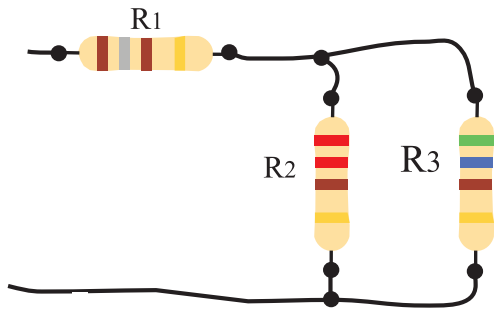
شکل ۲-۵۱



#### نکته: مقدار مقاومت معادل هر مدار موازی

از کوچک‌ترین مقاومت موجود در مدار، کوچک‌تر است.





شکل ۲-۵۵ یک نمونه مدار مقاومتی سری-موازی

برای محاسبه مقاومت معادل این گونه مدارها به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

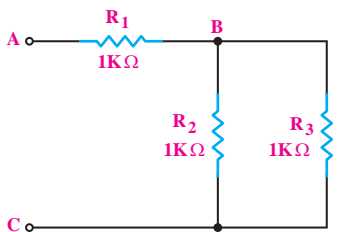
۱- برای ساده کردن مدار از قسمتی شروع می‌کنیم که منبع تغذیه وجود ندارد یا نقاط باز مشخص شده در مدار هستند.

۲- ابتدا مقاومت‌هایی که به صورت سری یا موازی بسته شده‌اند و در یک مجموعه قرار دارند را باید با هم ترکیب و ساده کنیم.

۳- برای محاسبه  $R_T$  (مجموع = Total) یا  $R_{eq}$  (معادل = equivalent) در هر قسمت، از روابط مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی استفاده می‌کنیم.

۴- بهتر است از نقطه‌ای شروع کنیم که مدار به تدریج ساده شود و به یک مقاومت معادل برسیم. برای این منظور لازم است قبل از شروع کار، مدار را به طور دقیق بررسی کنیم.

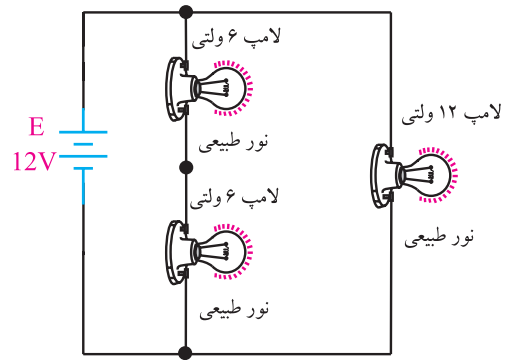
**مثال ۱۴:** مقاومت معادل مدار شکل ۲-۵۶ را به دست آورید.



شکل ۲-۵۶

- دو لامپ ۶ ولتی یک وات را با یکدیگر سری می‌کنیم و به ولتاژ ۱۲ ولت اتصال می‌دهیم. در این صورت به هر لامپ ۶ ولتی، ولتاژی برابر با ۶ ولت می‌رسد و لامپ‌ها با نور طبیعی خود کار می‌کنند.

لامپ ۱۲ ولتی را نیز مطابق شکل ۲-۵۴ به مجموعه اضافه می‌کنیم. در این مدار، لامپ ۱۲ ولت نیز با نور طبیعی خود کار خواهد کرد.



شکل ۲-۵۴ هر سه لامپ نور طبیعی دارند.

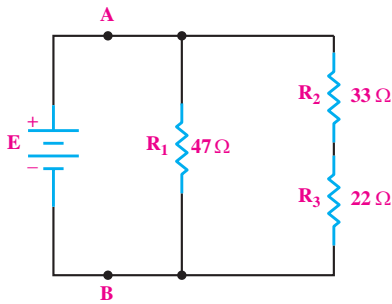
به مدار الکتریکی شکل ۲-۵۴ مدار «سری-موازی» می‌گویند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در مدارهای سری-موازی تعدادی از عناصر با یکدیگر سری و تعدادی دیگر با هم موازی یا با مجموعه‌های سری عناصر، موازی می‌شوند.

در شکل ۲-۵۵ مقاومت‌های  $R_2$ ،  $R_3$  با یکدیگر موازی هستند و مجموعه این مقاومت‌ها با  $R_1$  به صورت سری بسته شده‌است. برای تحلیل مقاومت‌ها «سری-موازی» معمولاً باید مدار را به صورت سری یا موازی درآورد. در مدارهای ترکیبی «سری-موازی» قسمت‌هایی از مدار که به صورت سری بسته شده‌اند تمام ویژگی‌های مدار سری را دارند و قسمت‌هایی از مدار که به صورت موازی است، تمام خواص مدار موازی را دارد.

**حل:**

**مثال ۱۵:** مقاومت معادل از دو نقطه A و B در مدار

شکل ۲-۵۹ را به دست آورید.



شکل ۲-۵۹

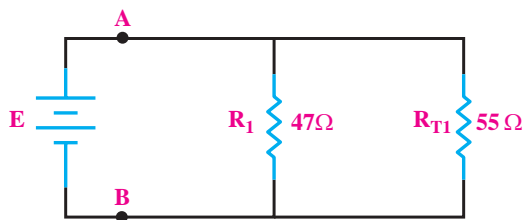
**حل:**

چون دو مقاومت  $R_2, R_3$  به صورت مستقل با هم سری بسته شده‌اند و در بیرونی ترین نقطه مدار قرار دارند از آنها شروع می‌کنیم.

ابتدا دو مقاومت  $R_2, R_3$  را تبدیل به یک مقاومت معادل  $R_{2,3}$  (می‌خوانیم آر دو و سه) می‌کنیم:

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 33 + 22 = 55 \Omega$$

مدار ساده شده را ترسیم می‌کنیم:



شکل ۲-۶۰

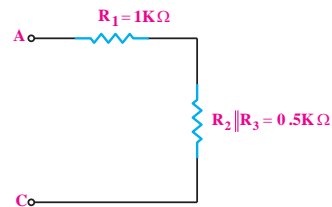
با توجه به شکل ۲-۶۰ مقاومت معادل  $R_{2,3}$  با مقاومت  $R_1$  به صورت موازی قرار دارند. مقاومت معادل را به دست می‌آوریم:

$$R_T = R_1 \parallel R_{2,3} = \frac{R_1 \times R_{2,3}}{R_1 + R_{2,3}} = \frac{47 \times 55}{47 + 55} = 25 / 34 \Omega$$

چون مقاومت‌های  $R_2, R_3$  موازی هستند و منبع تغذیه‌ای به آن وصل نیست و در انتهای مدار قرار دارند از این مقاومت‌ها شروع می‌کنیم:

$$R_2 \parallel R_3 = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} = \frac{1}{2} = 0.5 k\Omega$$

حال مدار ساده‌تر شده را رسم می‌کنیم و به جای دو مقاومت  $R_2, R_3$  مقاومت معادل موازی آن یعنی  $R_2 \parallel R_3$  را می‌گذاریم، شکل ۲-۵۷.



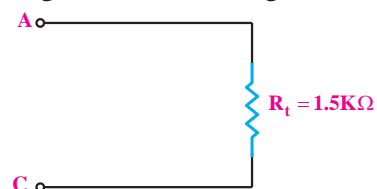
شکل ۲-۵۷

در مدار شکل ۲-۵۷ مقاومت ۰/۵ کیلو اهم و  $R_1$  با هم سری هستند. مقاومت معادل  $R_T$  را به دست می‌آوریم.

$$R_T = R_1 + (R_2 \parallel R_3)$$

$$R_T = 1 + 0.5 \Rightarrow R_T = 1.5 k\Omega$$

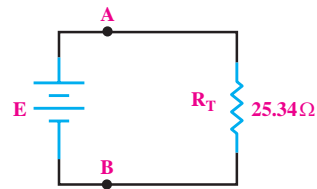
مدار معادل شکل ۲-۵۷ به صورت شکل ۲-۵۸ در می‌آید:



شکل ۲-۵۸



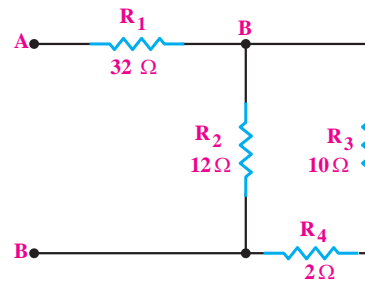
مدار شکل ۲-۵۹ به صورت شکل ۲-۶۱ درمی آید:



شکل ۲-۶۱

**مثال ۱۶:** مقدار مقاومت معادل شکل ۲-۶۲ را به

دست آورید.



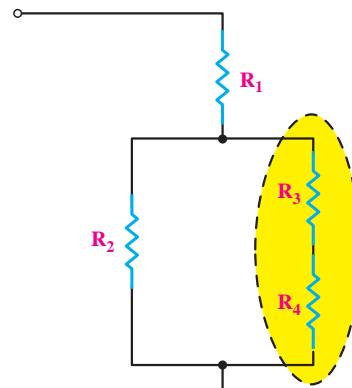
شکل ۲-۶۲

**حل:**

ابتدا مدار را به صورت شکل ساده شده ۲-۶۳

درمی آوریم و معادل دو مقاومت سری شده  $R_3$  و  $R_4$  را

محاسبه می کنیم.



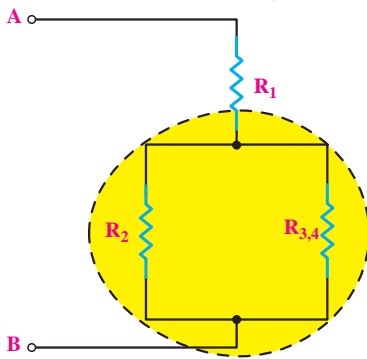
شکل ۲-۶۳

$$R_{3,4} = R_3 + R_4 = 10 + 2 = 12 \Omega$$

به جای دو مقاومت  $R_3$  و  $R_4$  مقدار معادل آن‌ها را که

$R_{3,4}$  (می خوانیم آر سه و چهار) می باشد، قرار می دهیم و به

شکل ۲-۶۴ می رسمیم:



شکل ۲-۶۴

مقاومت معادل مقاومت‌های  $R_3$  و  $R_4$  را که به

صورت موازی هستند و مقدار آن‌ها نیز مساوی است،

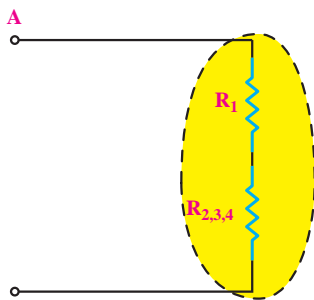
به دست می آوریم. این مقاومت‌ها را  $R_{3,4}$  (می خوانیم آر ۳ و ۴)

می نامیم:

$$R_{3,4} = R_3 \parallel R_4 = \frac{12}{2} = 6 \Omega$$

با قرار دادن  $R_{3,4}$  به جای مقاومت  $R_3$  و  $R_4$  به شکل

۲-۶۵ خواهیم رسید:



شکل ۲-۶۵

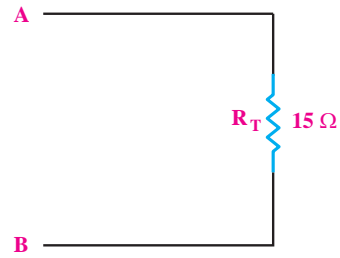
چون مقاومت معادل به دست آمده در مرحله ی قبل  $R_{3,4}$  با

مقاومت  $R_1$  به صورت سری بسته شده است، مقاومت معادل

$R_T$  از مجموع آن‌ها به دست می آید.

$$R_T = R_1 + R_{3,4} = 3 + 12 = 15 \Omega$$

مقاومت به دست آمده برابر با مقاومت کل مدار است و مدار معادل شکل ۲-۶۲ به صورت شکل ۲-۶۶ در می آید:

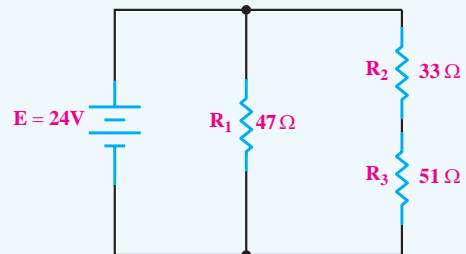


شکل ۲-۶۶

تمرین کلاسی ۳: مقاومت معادل مدار



شکل ۲-۶۷ را به دست آورید.



شکل ۲-۶۷



## ۲-۶ آزمایش شماره (۲)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۲-۶-۱ هدف آزمایش:

اندازه گیری مقاومت ها به صورت سری و موازی.

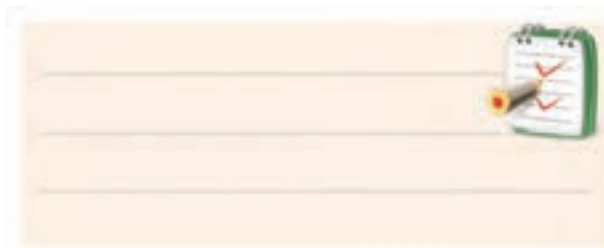
### ۲-۶-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و موارد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات تجهیزات (برای هر گروه کلاسی)	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۲	بردبرد	یک قطعه
۳	مقاومت یک کیلو اهم یک وات	پنج عدد
۴	مقاومت $180\Omega - 0.5$ وات	یک عدد
۵	مقاومت $560\Omega - 0.5$ وات	یک عدد
۶	سیم‌های رابط معمولی (تلفنی)	به مقدار کافی
۷	سیم‌های دو سرگیره سوسماری	به مقدار کافی

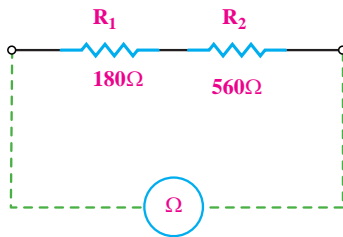
جدول ۲-۴

مقدار اندازه گیری شده	مقدار اهم و تولرانس خوانده شود	نوارهای رنگی	مقاومت
			$R_1$
			$R_2$
			$R_3$

**سؤال ۶:** آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر خوانده شده انطباق دارد؟ شرح دهید.



■ مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  را به صورت سری ببینید و سپس مقاومت اهمی مجموعه سری را به کمک اهم‌متر مطابق شکل ۲-۶۸ اندازه گرفته و یادداشت کنید.



شکل ۲-۶۸

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

**سؤال ۷:** آیا  $R_T$  اندازه گیری شده به کمک اهم‌متر با  $R_T = R_1 + R_2$  که از طریق محاسبه به دست می‌آید یکی است؟ توضیح دهید.

$$R_T = R_1 + R_2 = \dots\dots\dots \Omega \text{ محاسبه}$$

### ۲-۶-۳ مراحل اجرای آزمایش:

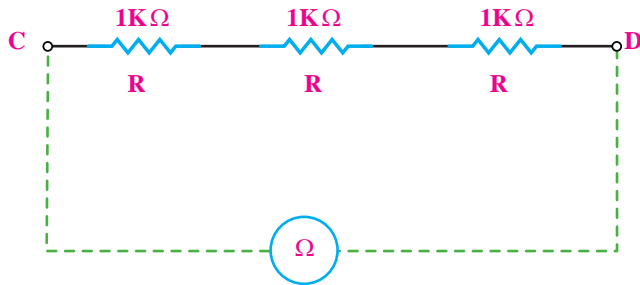
#### الف - به دست آوردن مقاومت معادل در یک مدار سری

■ مقدار و درصد خطای مقاومت‌های  $180\Omega$  و  $560\Omega$  را با توجه به نوارهای رنگی بخوانید و در جدول ۲-۴ بنویسید.

■ اگر نوع مولتی متر شما عقربه‌ای (آنالوگ) است، قبل از هر اندازه گیری ابتدا صفر آن را تنظیم کنید.

■ به کمک مولتی متر مقدار دقیق مقاومت‌های  $180\Omega$  و  $560\Omega$  را اندازه بگیرید. مقاومت  $180$  اهم را با  $R_1$  و مقاومت  $560\Omega$  را با  $R_2$  و مقاومت  $1\text{K}\Omega$  را با  $R_3$  نام گذاری و در جدول ۲-۴ یادداشت کنید.

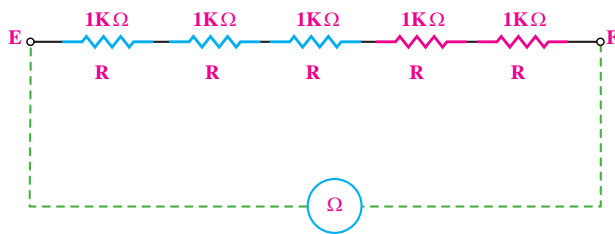
سری اتصال دهید و توسط مولتی متر مقاومت معادل بین دو نقطه C و D را اندازه گیری و یادداشت کنید.



شکل ۲-۷۰

$$R_T = R_{CD} = \dots\dots\dots \Omega$$

■ دو مقاومت یک کیلو اهم دیگر را مطابق شکل ۲-۷۱ به صورت سری به مدار قبل اضافه کنید.

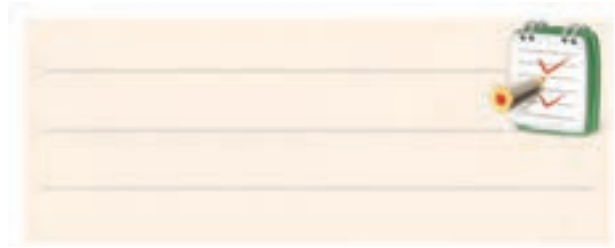
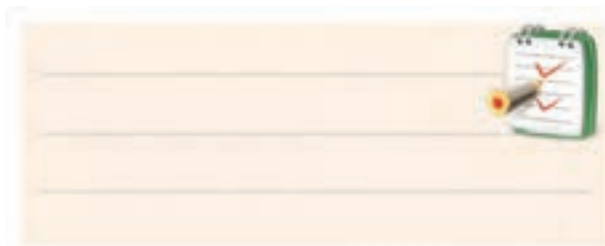


شکل ۲-۷۱

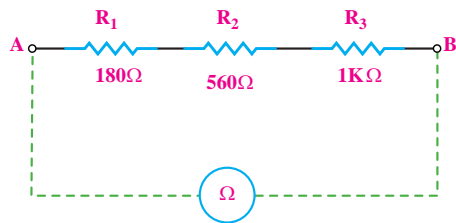
■ با استفاده از مولتی متر، مقاومت معادل بین دو نقطه E و F را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$R_T = R_{EF} = \dots\dots\dots K\Omega$$

**سؤال ۹:** آیا می توان نتیجه گرفت که اگر مقدار مقاومت های سری مساوی باشند، مقاومت معادل از رابطه  $R_T = n.R$  قابل محاسبه است؟



■ یک مقاومت یک کیلو اهم را مطابق شکل ۲-۶۹ به مدار سری اضافه کنید.



شکل ۲-۶۹

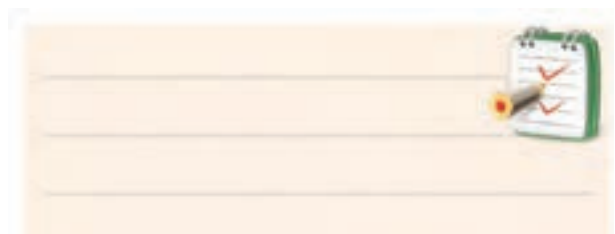
■ مقدار  $R_T$  در مدار شکل ۲-۶۹ را با استفاده از رابطه  $R_T = R_1 + R_2 + R_3$  به دست آورید و یادداشت کنید.

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

■ حوزه کار مولتی متر را روی  $1K\Omega \times R$  قرار دهید. ■ مقاومت بین دو نقطه A و B در شکل ۲-۶۹ را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

**سؤال ۸:** آیا  $R_T$  اندازه گیری شده به کمک مولتی متر با  $R_T$  به دست آمده از طریق محاسبه برابر است؟ توضیح دهید.



■ سه مقاومت  $1K\Omega$  را مطابق شکل ۲-۷۰ به صورت

## موضوع ب- به دست آوردن مقاومت معادل در

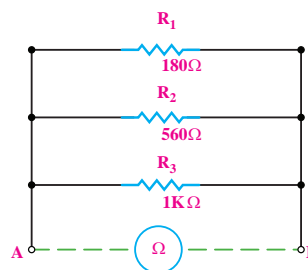
### یک مدار موازی.

قبل از هر اندازه گیری، صفر اهم متر عقربه‌ای را تنظیم

کنید.

مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  را مطابق شکل ۲-۷۲ به

صورت موازی روی بردبرد ببندید.



شکل ۲-۷۲

مقاومت معادل شکل ۲-۷۲ را از رابطه‌ی:

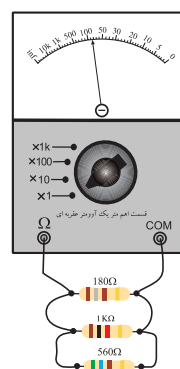
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

با توجه به مقدار محاسبه شده، رنج مناسبی را برای

اهم متر انتخاب کنید.

مقاومت اهمی مجموعه‌ی اتصال موازی را مطابق شکل

۲-۷۳ به کمک مولتی متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

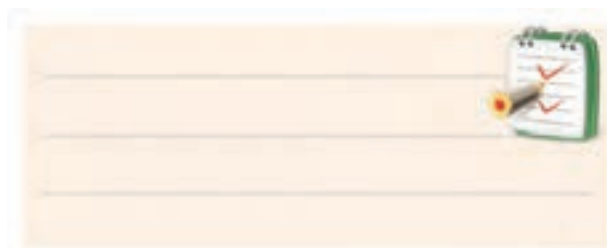


شکل ۲-۷۳

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

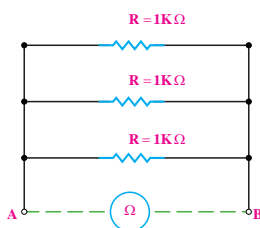
**سوال ۱۰:** آیا  $R_T$  اندازه گیری شده به کمک مولتی متر با

$R_T$  محاسبه شده یکی است؟ توضیح دهید.



سه مقاومت  $1K\Omega$  را مطابق شکل ۲-۷۴ و به صورت

موازی اتصال دهید.



شکل ۲-۷۴

مقاومت معادل را از رابطه‌ی  $R_T = \frac{R}{n}$  به دست

آوردید.

$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

با توجه به مقدار مقاومت بدست آمده، رنج مناسبی

برای مولتی متر انتخاب کنید.

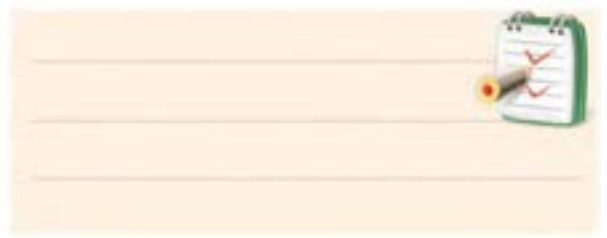
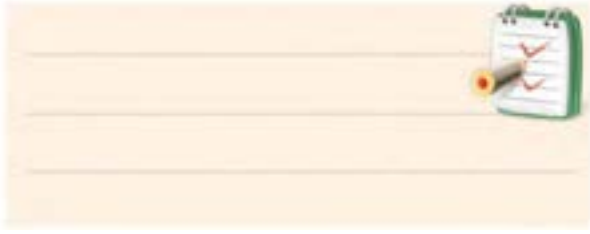
مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی A و B را با استفاده از

مولتی متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

**سوال ۱۱:** آیا مقادیر بدست آمده از طریق محاسبه با

مقادیر اندازه گیری شده انطباق دارد؟ توضیح دهید.

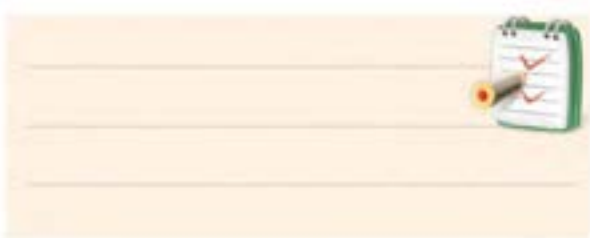


■ با توجه به مقدار به دست آمده رنج مناسبی برای مولتی متر انتخاب کنید.

■ مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی A و B در شکل ۲-۷۵ را با استفاده از مولتی متر اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

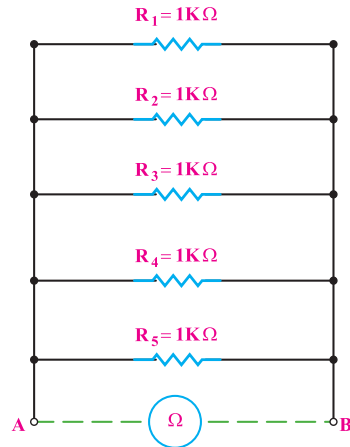
$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

**سؤال ۱۳:** آیا مقادیر به دست آمده از طریق محاسبه و اندازه‌گیری با مولتی متر یکی است؟ توضیح دهید.



■ پنج مقاومت  $1K\Omega$  را مطابق شکل ۲-۷۵ به صورت

موازی روی برد برد ببندید.



شکل ۲-۷۵

■ مقاومت معادل را از طریق رابطه‌ی  $R_T = \frac{R}{n}$  به دست آورید.

به دست آورید.

$$R_{T_1} = \dots\dots\dots \Omega$$

■ مقدار مقاومت معادل را از رابطه‌ی

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots\dots\dots$$

محاسبه و یادداشت کنید.

$$R_{T_2} = \dots\dots\dots \Omega$$

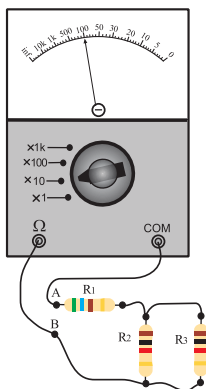
**سؤال ۱۲:** آیا مقادیر به دست آمده از این دو رابطه ( $R_{T_1}$  و

$R_{T_2}$ ) با هم برابر است؟ توضیح دهید.

**موضوع ج- اندازه‌گیری مقاومت معادل یک**

**مدار ترکیبی سری- موازی با مولتی متر**

■ مداری مطابق شکل ۲-۷۶ روی برد برد ببندید.



شکل ۲-۷۶

دهید.

■ مقدار مقاومت معادل شکل ۲-۷۶ را از طریق محاسبه

به دست آورید.

$R_p$  و  $R_r$  موازی هستند:

$$R_{T_1} = R_r \parallel R_p$$

$R_1$  با  $R_{T_1}$  سری است.

$$R_T = R_1 + R_{T_1}$$

$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

■ با توجه به مقدار مقاومت به دست آمده، رنج مناسبی را

برای مولتی متر انتخاب کنید.

■ اگر برای اندازه گیری مقاومت اهمی از مولتی متر

عقر به ای استفاده می کنید قبل از اندازه گیری صفر آن را تنظیم کنید.

■ به کمک مولتی متر مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه ای

A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{AB} = \dots\dots\Omega$$

**سوال ۱۴:** آیا مقدار مقاومت معادل محاسبه شده با مقدار

مقاومت معادل اندازه گیری شده توسط مولتی متر برابر است؟



استفاده ی بهینه از وسایل و تجهیزات، مهارت

الگوی صحیح مصرف را در فرد ایجاد می کند و طول

عمر وسایل را افزایش می دهد.

**۴-۶-۲ نتایج آزمایش:**

آن چه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح

## ۲-۷ افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدارهای سری

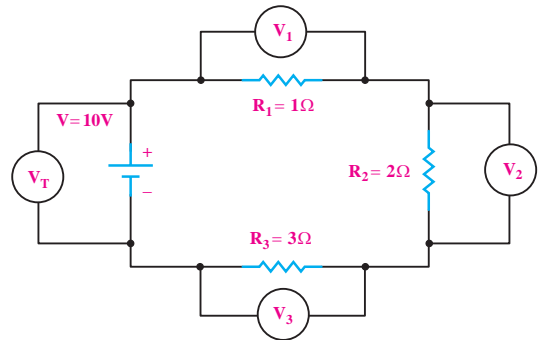
### و موازی

بر اثر عبور جریان الکتریکی از هر مقاومت الکتریکی در دو سر آن افت ولتاژ به وجود می‌آید. مقدار این ولتاژ بر اساس قانون اهم از رابطه‌ی  $V = R \cdot I$  محاسبه می‌شود.

### ۲-۷-۱ محاسبه افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدار سری:

چون جریان در مدار سری ثابت است لذا مقدار افت ولتاژ در دو سر مقاومت با مقدار اهمی مقاومت رابطه‌ی مستقیم دارد، یعنی در صورت افزایش مقدار مقاومت ( $R$ )، مقدار ولتاژ ( $V$ ) نیز افزایش می‌یابد.

به عنوان مثال اگر مداری را مطابق شکل ۲-۷۷ ببینیم، ولت‌مترها مقادیر ولتاژهای متفاوتی را در دو سر مقاومت‌ها نشان می‌دهند. ولت‌مترهای  $V_1$ ،  $V_2$  و  $V_3$  مقادیر ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  و ولت‌متر  $V_T$  مقدار ولتاژ کل مدار را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷۷ بررسی ولتاژها در مدار سری

با توجه به شکل ۲-۷۷ نتیجه می‌گیریم که در یک مدار

سری:

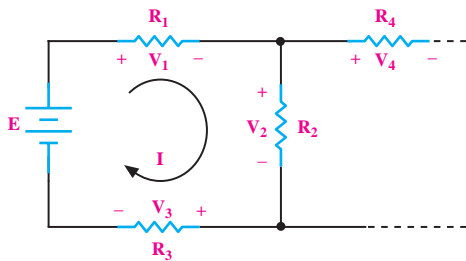
$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{R_T} = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

## ۲-۷-۲ قانون ولتاژ کریشهف (KVL)

طبق قانون ولتاژ کریشهف یا به اختصار (KVL) جمع جبری ولتاژهای اعمال شده (نیروی محرکه) و افت ولتاژها در یک مدار بسته برابر صفر است. به عبارت دیگر در یک مدار بسته جمع جبری ولتاژها برابر صفر است. علامت جبری نیروی محرکه را معمولاً مثبت (+) و علامت افت ولتاژها را منفی (-) در نظر می‌گیریم. با توجه به شکل ۲-۷۸ در حلقه‌ی یک، موارد زیر وجود دارد.

+E	$-V_1$	$-V_2$	$-V_3 = 0$
نیروی محرکه	افت ولتاژ دو سر مقاومت $R_1$	افت ولتاژ دو سر مقاومت $R_2$	افت ولتاژ دو سر مقاومت $R_3$

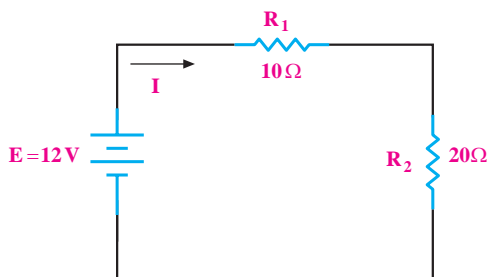


شکل ۲-۷۸

### مثال ۱۷:

در شکل ۲-۷۹ افت ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$

را به دست آورید.



شکل ۲-۷۹



حل:

با توجه به قانون اهم، رابطه مقدار افت ولتاژ را در دو سر

هر مقاومت می نویسیم:

$$V_1 = R_1 \cdot I = 10I$$

$$V_2 = R_2 \cdot I = 20I$$

طبق قانون KVL داریم:

$$E - V_1 - V_2 = 0$$

در رابطه بالا به جای E و  $V_1$  و  $V_2$  مقادیر معادل را

می نویسیم و مقدار I را محاسبه می کنیم:

$$12 - 10I - 20I = 0$$

$$12 - 30I = 0$$

$$12 = 30I$$

$$I = \frac{12}{30} = 0.4A \Rightarrow I = 0.4A$$

در رابطه  $V_1$  و  $V_2$  به جای I عدد می گذاریم:

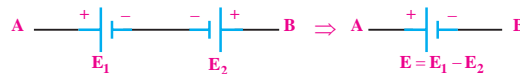
$$V_1 = 10I = 10 \times 0.4 = 4V \Rightarrow V_1 = 4(V)$$

$$V_2 = 20I = 20 \times 0.4 = 8V \Rightarrow V_2 = 8(V)$$

اگر دو منبع را به صورت شکل ۲-۸۰ با یکدیگر سری

کنیم، منبع معادل برابر با جمع ولتاژهای دو منبع با قطب های

نشان داده شده در شکل ۲-۸۰ است.

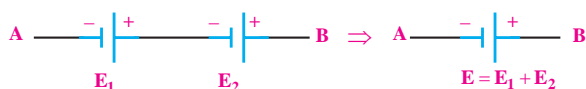
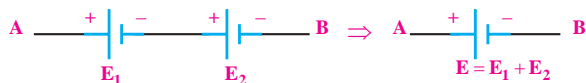


شکل ۲-۸۰

و اگر دو منبع را مطابق شکل ۲-۸۱ با یکدیگر سری کنیم،

مقدار ولتاژ منبع معادل از تفاضل ولتاژ دو منبع با قطب های

نشان داده شده در شکل ۲-۸۱ به دست می آید.



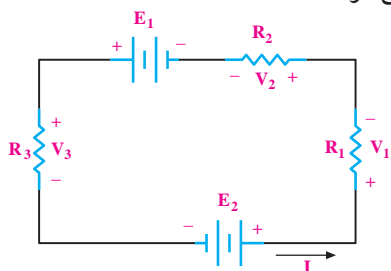
شکل ۲-۸۱ نحوه جمع جبری دو منبع ولتاژ (نیروی محرکه)

در مداري که بیش از یک منبع وجود دارد، به جای n

منبع می توان **منبع معادل منابع موجود** را براساس رابطه

قانون KVL قرار داد. در شکل ۲-۸۲ قانون KVL به صورت

زیر نوشته می شود:



شکل ۲-۸۲

$$E_1 + E_2 - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

$$E_1 + E_2 = V_1 + V_2 + V_3 \text{ (معادل منبع } E_1 \text{ و } E_2)$$

هنگام نوشتن قانون KVL در یک حلقه بسته به نکات

زیر توجه کنید:

• برای حلقه، جریان I را در یک جهت دلخواه انتخاب

می کنیم.

• KVL را در جهت جریان انتخابی می نویسیم.

• اگر جریان مثبت از قطب مثبت منبع خارج می شود،

علامت منبع را مثبت (+) و اگر به قطب مثبت (+) وارد شود

علامت آن را منفی (-) در نظر بگیرید.

• علامت مثبت (+) برای ولتاژ دو سر یک مقاومت، محلی

است که جریان به آن نقطه وارد می شود.

**مثال ۱۸:** رابطه KVL را برای مدار شکل ۲-۸۳ بنویسید.

و سپس رابطه‌ی KVL را در آن می‌نویسیم:

$$-E_p + E_1 + V_1 + V_p = 0$$

مقادیر را در رابطه جایگزین می‌کنیم و مقدار I را به دست

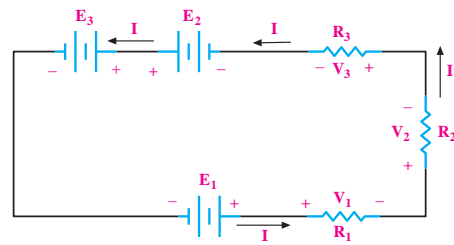
می‌آوریم:

$$-6 + 15 + R_1 \cdot I + R_p \cdot I = 0$$

$$-6 + 15 + 10 \cdot I + 15 \cdot I = 0$$

$$+9 = -25 \cdot I$$

$$I = \frac{9}{-25} = -0.36 \text{ A} \Rightarrow I = -0.36 \text{ A}$$



شکل ۲-۸۳

**حل:**

علامت منفی نشان می‌دهد که جهت اصلی جریان

برخلاف جهت جریان انتخابی است، لذا جهت جریان باید

اصلاح شود.

$$V_1 = R_1 \cdot I = 10 \times (-0.36) = -3.6 \text{ V}$$

$$V_p = R_p \cdot I = 15 \times (-0.36) = -5.4 \text{ V}$$

علامت منفی  $V_1$  و  $V_p$  به این معنی است که قطب‌های

انتخاب شده‌ی مثبت (+) و منفی (-) باید معکوس شوند.

### ۳-۷-۲ محاسبه‌ی افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدار موازی

در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو

سر باتری متصل است، بنابراین ولتاژ دو سر همه‌ی مقاومت‌ها

با هم مساوی است.

ولت‌متر  $V_1, V_p, V_r$  و افت ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$ ،

$R_p$  و  $R_r$  را در شکل ۲-۸۵ نشان می‌دهد و ولت‌متر  $V_s$  مقدار

ولتاژ دو سر منبع تغذیه را مشخص می‌کند. در مدار موازی

تمام این ولتاژها مساوی هستند و همه‌ی ولت‌مترها در این

شکل یک عدد را نشان می‌دهند.

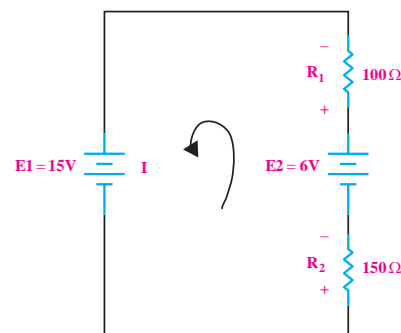
$+E_1$	$+E_p$	$-E_p$	$-V_1 - V_p - V_r = 0$
جریان از قطب مثبت آن خارج می‌شود	جریان از قطب مثبت آن خارج می‌شود	جریان به قطب مثبت وارد می‌شود	جریان به پایه‌ای که برای مقاومت، مثبت در نظر گرفته‌ایم وارد می‌شود

توجه داشته باشید که جهت انتخاب جریان (I) در شروع

کار برای حل مسئله اختیاری است.

### مثال ۱۹:

در شکل ۲-۸۴ ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌های مدار را به دست آورید.



شکل ۲-۸۴

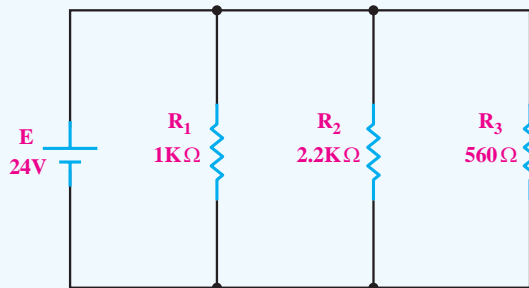
**حل:**

ابتدا یک جهت جریان دلخواه برای مدار در نظر می‌گیریم

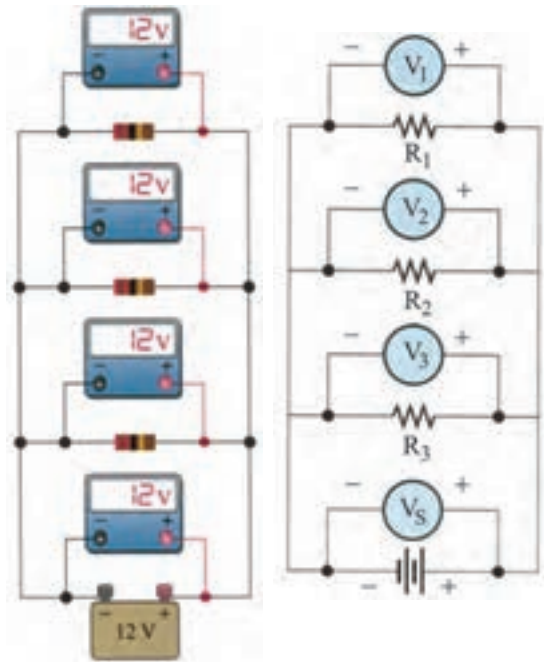
همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد، برای اندازه گیری افت ولتاژ دو سر مقاومت ها از دستگاه اندازه گیری ولت متر استفاده می شود. قبل از به کار گیری عملی دستگاه اندازه گیری ولت متر، آن را مورد بررسی قرار می دهیم.

### تمرین کلاسی ۴: در مدار شکل ۲-۸۷

ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  را به دست آورید.



۲-۸۷



شکل ۲-۸۵ مدار با چهار مقاومت موازی

بنابراین برای مدارهای موازی می توانیم رابطه ی زیر را

بنویسیم:

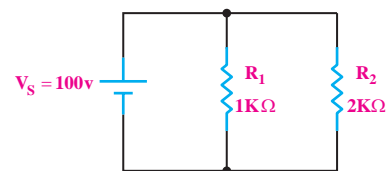
$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_S$$

یعنی:

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = \dots = V_S$$

**مثال ۲۰:** ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  در مدار

شکل ۲-۸۶ را به دست آورید.



شکل ۲-۸۶

**حل:**

مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  موازی هستند، پس افت ولتاژ دو سر

این دو مقاومت با هم برابر و مساوی ولتاژ تغذیه است:

$$V_S = V_{R1} = V_{R2} = 100V$$

## ۲-۸ منبع تغذیه DC

### ۲-۸-۱ آشنایی با منبع تغذیه

منبع تغذیه یک دستگاه الکترونیکی است که ولتاژ موجود (معمولاً ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر) را دریافت و آن را تبدیل به ولتاژ DC مورد نیاز برای مدارهای الکترونیکی می کند. خروجی منبع تغذیه می تواند ثابت یا متغیر باشد. در صورتی که منبع تغذیه دارای ولتاژ خروجی متغیر باشد روی پانل دستگاه، یک ولوم قرار می دهند. با تغییر این ولوم می توان ولتاژ خروجی را به مقدار دلخواه تنظیم کرد. در شکل ۲-۸۸

در منابع تغذیه‌ای که سیستم حفاظت در مقابل اتصال کوتاه دارند، برای تنظیم حداکثر جریان خروجی، دو ترمینال ولتاژ خروجی را با یکدیگر اتصال کوتاه می‌کنند و با تغییر ولوم «Current» مقدار ماکزیمم جریان خروجی منبع تغذیه را تنظیم می‌کنند، شکل ۲-۸۹. توجه داشته باشید هنگام اتصال کوتاه ولتاژ دو سر ترمینال خروجی منبع تغذیه نزدیک به صفر می‌شود.

با فشار دادن این کلید صفحه نمایش مقدار جریان را نشان می‌دهد. با تغییر این ولوم می‌توان ماکزیمم جریان خروجی را تنظیم کرد.



با یک سیم رابط دو ترمینال خروجی را اتصال کوتاه می‌کنیم.

شکل ۲-۸۹ نحوه‌ی تنظیم جریان خروجی یک منبع تغذیه

صفحه‌ی هر دستگاه الکترونیکی را پانل آن دستگاه می‌نامند.

### ۲-۸-۲ دستگاه اندازه‌گیری ولتاژ یا «ولت‌متر»

ولت‌متر در دو نوع عقربه‌ای و دیجیتالی ساخته می‌شود. علائمی روی این دستگاه‌ها وجود دارد که نشان‌دهنده‌ی توانایی‌های دستگاه در اندازه‌گیری کمیت‌های AC، DC، (موج متناوب که بعداً به آن اشاره خواهد شد)، وضعیت باتری

دو نمونه منبع تغذیه آزمایشگاهی با خروجی متغیر نشان داده شده است. خروجی این منابع تغذیه‌ی متغیر ولتاژ DC متغیر است.

با این ولوم می‌توان جریان خروجی را به میزان دلخواه تنظیم کرد.



با این ولوم می‌توان ولتاژ خروجی را به میزان دلخواه تنظیم کرد.



شکل ۲-۸۸ دو نمونه منبع تغذیه آزمایشگاهی

بیشتر منابع تغذیه‌ی آزمایشگاهی، دارای یک ولت‌متر و یک آمپر‌متر هستند تا ولتاژ دو سر خروجی منبع تغذیه و جریان مصرف‌کننده را بدون نیاز به یک ولت‌متر و آمپر‌متر دیگر، نشان دهند. از طرفی برای محدود کردن جریان خروجی در مقابل اتصال کوتاه و یا به هر دلیل دیگر، یک ولوم به نام «Current» روی دستگاه نصب شده است با تنظیم این ولوم می‌توان جریان خروجی منبع تغذیه را به هر مقدار دلخواه تنظیم کرد.



شکل ۹۰-۲ صفحه مولتی متر عقربه‌ای

ولت‌متر دیجیتالی نوع دیگری از ولت‌متر است. بزرگ‌ترین مزیت این دستگاه، نشان دادن کمیت به همراه واحد آن به صورت عدد و رقم است. به منظور داشتن دقت بیشتر، همیشه رنجی را انتخاب می‌کنیم که تقریباً ارقام روی صفحه‌ی نمایش بتواند مقدار کمیت را نشان دهد. شکل ۹۱-۲ یک نمونه ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



این ولت‌متر گران است. برای اندازه‌گیری از مولتی‌متر استفاده کنید.

شکل ۹۱-۲ ولت‌متر عقربه‌ای

داخلی دستگاه و مواردی دیگر است. این علائم با توجه به توانایی‌های دستگاه‌های مختلف، متفاوت است. ولت‌متر یکی از حوزه‌های کار مولتی‌متر است. در مولتی‌مترهای عقربه‌ای برای خواندن دقیق ولتاژ، باید به کلید سلکتور اصلی مولتی‌متر، که ماکزیمم مقدار ولتاژ را روی صفحه‌ی مدرج نشان می‌دهد، توجه کنیم و همچنین باید تعداد تقسیمات آن کمیت را روی صفحه‌ی مدرج در نظر بگیریم.

برای به دست آوردن مقدار کمیت ولتاژ اندازه‌گیری شده، ابتدا باید ببینیم که عقربه چند قسمت منحرف شده است. سپس تعداد تقسیمات را در ماکزیمم مقدار رنج روی صفحه (بزرگ‌ترین عدد روی صفحه‌ی مدرج) ضرب کنیم. در نهایت مقدار به دست آمده را بر تعداد تقسیمات صفحه‌ی مدرج تقسیم می‌کنیم. به طور مثال اگر کلید سلکتور روی ۵۰۰ ولت قرار دارد و از طرفی درجه بندی صفحه‌ی مدرج، ۵۰ قسمت است، ضریب صفحه ۱۰ می‌شود زیرا:

$$\text{ضریب صفحه} = \frac{500}{50} = 10$$

حال اگر عقربه به اندازه‌ی ۳۸ قسمت منحرف شده باشد، باید این عدد را در ده ضرب کنیم تا مقدار اندازه‌گیری شده به دست آید.

$$38 \times \frac{500}{50} = 380 \text{ (V)}$$

(رنج ولت‌متر) / (حداکثر درجه بندی)

## ۹-۲ آزمایش شماره‌ی (۳)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۹-۲-۱ هدف آزمایش:

آشنایی با منبع تغذیه و اندازه‌گیری ولتاژها در مدار سری

و موازی و تحقیق عملی قانون ولتاژ KVL

### ۹-۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و موارد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	منبع تغذیه ۱A، ۱۵V-۰	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک یا دودستگاه
۳	مقاومت $180\Omega$ -۰/۵ وات	یک عدد
۴	مقاومت $560\Omega$ -۰/۵ وات	یک عدد
۵	سیم‌های یک سرگیره سوسماری	چهار رشته
۶	سیم‌های دو سرگیره سوسماری	دو رشته
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

■ منبع تغذیه را روشن کنید.

■ سعی کنید به کمک ولت‌متر جداگانه‌ای که به

منبع تغذیه وصل کرده‌اید، ولتاژ خروجی را روی ۱/۲۵V،

۳/۸۵V، ۴/۵V، ۵/۱V و ۶/۸۵V ولت تنظیم کنید.

■ هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، رنج کلید ولت‌متر را طوری

انتخاب کنید که انحراف عقربه، بیشترین مقدار ممکن را

داشته باشد به عنوان مثال اگر می‌خواهید ولتاژ ۴/۵ ولت را

اندازه‌بگیرید رنج ولت‌متر را روی ۵V قرار دهید.

■ بر روی اکثر منابع تغذیه، علاوه بر ولوم تنظیم ولتاژ،

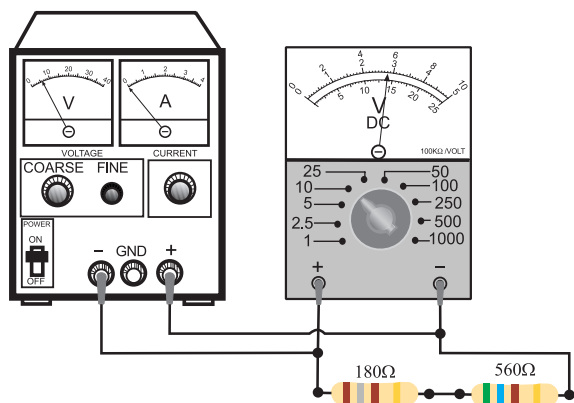
یک ولوم دیگر به نام FINE وجود دارد که با تغییر این ولوم

می‌توان ولتاژ خروجی را در حد دهم ولت تنظیم کرد.

### موضوع ب- ولتاژ در مدار سری و قانون KVL

■ ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.

■ مداری مطابق شکل ۹۳-۲ ببندید.



شکل ۹۳-۲

■ رنج مولتی‌متر را روی ۱۰ ولت قرار دهید.

■ منبع تغذیه را طوری تنظیم کنید که ولت‌متری که مانند

شکل ۹۳-۲ در مدار قرار دارد، مقدار ۶ ولت را نشان دهد.

■ ولت‌متر را یک بار به دو سر مقاومت ۱۸۰ اهم و یک

### ۹-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

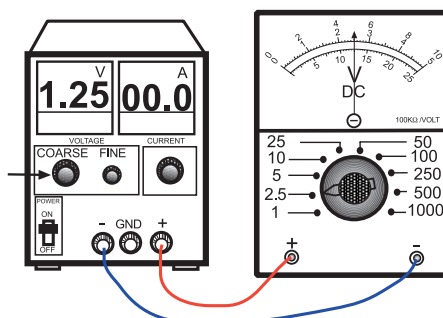
#### موضوع الف - آشنایی با منبع تغذیه

■ منبع تغذیه را با احتیاط به برق شهر وصل کنید.

■ مدار شکل ۹۲-۲ را ببندید. حتی اگر منبع تغذیه شما

ولت‌متر داشت باز هم، خروجی آن را حتماً به ولت‌متر

جداگانه وصل کنید.



شکل ۹۲-۲

■ در شکل ۹۳-۲ حوزه‌ی کار مولتی‌متر را روی ۲۵ ولت قرار دهید.

■ ولتاژ منبع تغذیه را به آرامی زیاد کنید.

■ مولتی‌متر را به قسمت ورودی مدار وصل کنید.

■ افزایش ولتاژ منبع تغذیه را تا وقتی که مولتی‌متر ولتاژ ورودی را ۱۲ ولت نشان می‌دهد، ادامه دهید.

■ در این حالت ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $180\Omega$  و  $560\Omega$  را با مولتی‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**توجه**

برای اندازه‌گیری ولتاژ در هر قسمت، مولتی‌متر را جابه‌جا کنید.

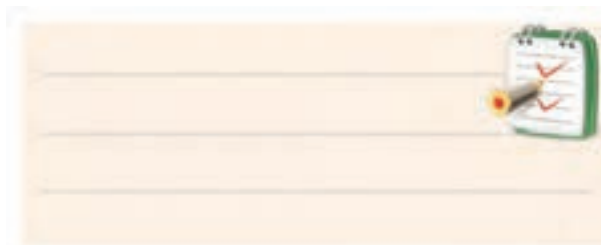


بار به دو سر مقاومت  $560\Omega$  وصل کنید. مقدار ولتاژ دو سر این مقاومت‌ها را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

■ مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر در هر یک از حالت‌های زیر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید:

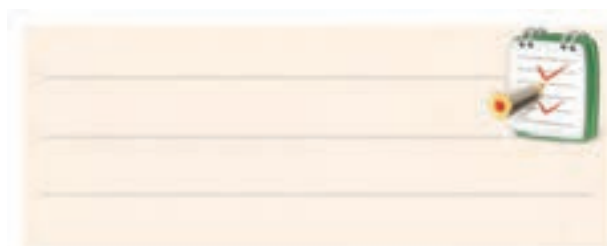
مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر برای کل مدار نشان می‌دهد.	$V_1 = 6\text{ V}$
مقدار ولتاژی را که ولت‌متر در دو سر مقاومت $180\Omega$ اهم نشان می‌دهد.	$V_2 = \dots\dots\dots\text{ V}$
مقدار ولتاژی را که ولت‌متر در دو سر مقاومت $560\Omega$ اهم نشان می‌دهد.	$V_3 = \dots\dots\dots\text{ V}$

**سوال ۱۵:** آیا مقدار  $V_1 = V_2 + V_3$  است؟ چرا؟ توضیح دهید.



مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر در دو سر مقاومت $180\Omega$ نشان می‌دهد.	$V_2 = \dots\dots\dots\text{ V}$
مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر در دو سر مقاومت $560\Omega$ نشان می‌دهد.	$V_3 = \dots\dots\dots\text{ V}$

**سوال ۱۶:** مقادیر  $V_2$  و  $V_3$  را به ازای  $V_1 = 6\text{V}$  و  $V_1 = 12\text{V}$  با یکدیگر مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ دقیقاً توضیح دهید.

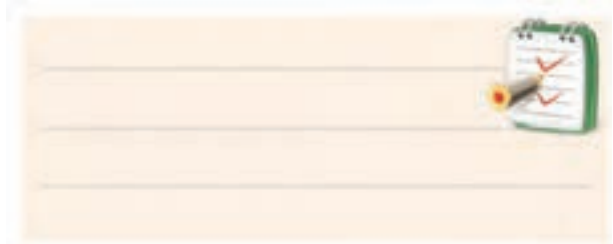


**توجه**

استفاده از مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی تفاوتی ندارد، هر کدام را که در اختیار دارید، استفاده کنید.



**سوال ۱۷:** آیا می توان نتیجه گرفت که در هر دو مرحله ی آزمایش که انجام شد، رابطه ی  $V_1 = V_p + V_s$  برقرار است؟ به عبارتی دیگر آیا جمع جبری افت ولتاژها در حلقه ی بسته ی مدار سری، صفر است،  $V_1 - V_p - V_s = 0$  توضیح دهید.



- رنج مولتی متر را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۶ ولت تنظیم کنید.

در این مدار، اندازه گیری ها توسط یک مولتی متر انجام می شود. شکل نشان داده شده مشخص کننده ی حالت های اندازه گیری است. برای هر اندازه گیری باید سیم های رابط مولتی متر را جابه جا کنید.

■ مولتی متر در شکل ۲-۹۴ چه عددی را نشان می دهد؟ یادداشت کنید.

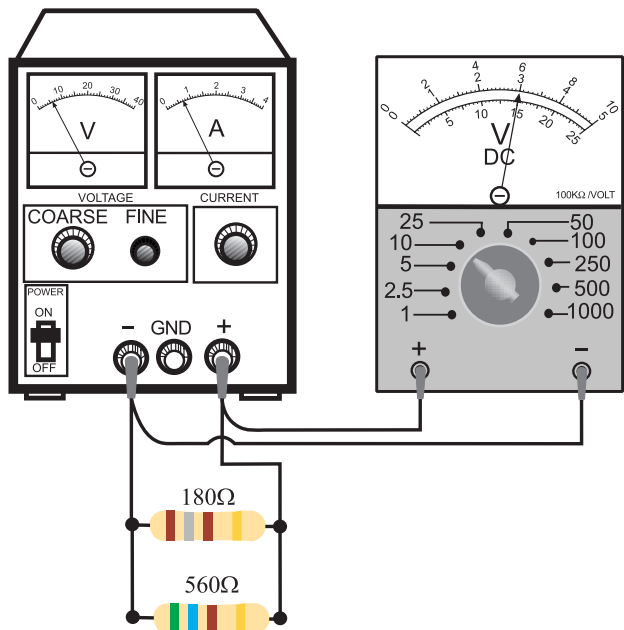
ولتاژی را که مولتی متر در حالت (۱) نشان می دهد.	$V_1 = \dots\dots\dots (V)$
---	-----------------------------

**موضوع ج- اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت ها در مدار موازی**

- منبع تغذیه را روی صفر ولت بگذارید.
- مدار را مطابق شکل ۲-۹۴ ببندید.

■ مولتی متر را در حالت (۲) در شکل ۲-۹۵ قرار دهید و به دو سر مقاومت  $180 \Omega$  وصل کنید و مقدار ولتاژ نشان داده شده را بخوانید و یادداشت کنید.

ولتاژی را که مولتی متر در حالت (۲) نشان می دهد.	$V_p = \dots\dots\dots (V)$
---	-----------------------------



شکل ۲-۹۴



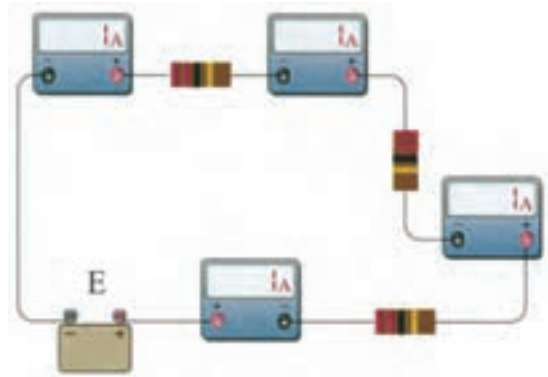


## ۲-۱۰ محاسبه‌ی جریان و توان در مدار سری و مدار

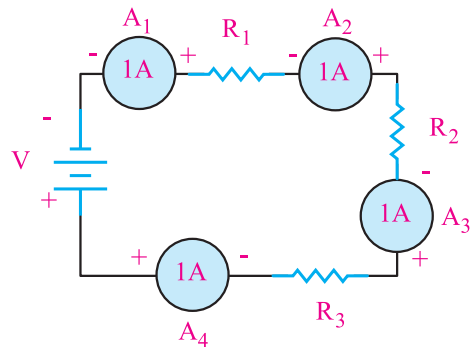
### موازی

#### ۲-۱۰-۱ محاسبه‌ی جریان و توان در یک مدار سری

چون در مدار سری یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد در نتیجه جریان عبوری از تمام مقاومت‌ها ثابت است. مطابق شکل ۲-۹۶ در یک مدار سری هر یک از آمپرمترها جریان‌های مساوی را نشان می‌دهند.



الف - مدار واقعی



ب- نقشه‌ی فنی

شکل ۲-۹۶ جریان مدار سری همواره ثابت

برای جریان در مدار سری می‌توانیم رابطه‌ی زیر را

بنویسیم:

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A3} = I_{A4} = I_T$$

یعنی:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = I_T$$

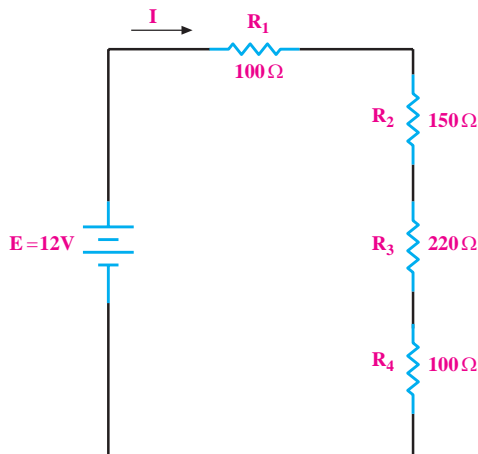
طبق قانون اهم، جریان کل در مدار سری شکل ۲-۹۶

برابر است با:

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3}$$

**مثال ۲۱:** در شکل ۲-۹۷ جریان هر یک از مقاومت‌های

مدار و جریان کل مدار چند میلی‌آمپر است؟



شکل ۲-۹۷ محاسبه‌ی جریان در مدار سری

**حل:**

مقاومت معادل را به دست می‌آوریم:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_T = 100 + 150 + 220 + 100 = 570 \Omega$$

با استفاده از قانون اهم، جریان مدار را محاسبه می‌کنیم:

**نکته:**



ولتاژ منابع تغذیه‌ی DC را در مدارها با حروف E یا V

نمایش می‌دهند.

از رابطه‌ی  $P=EI$  است.

### توجه

در یک مدار سری، توان کل مصرفی برابر با مجموع توان‌های مصرفی دو سر هر مصرف کننده است.



$$P_T = P_1 + P_2$$

**راه حل اول:** ابتدا توان کل را به دست می‌آوریم:

$$P_T = 100 + 100 = 200 \text{ W}$$

رابطه‌ی توان را بر حسب ولتاژ و جریان می‌نویسیم و جریان

مدار را با استفاده از مقادیر توان و ولتاژ محاسبه می‌کنیم:

$$P_T = I \cdot V$$

$$I = \frac{P_T}{V} = \frac{200}{220} = 0.91 \text{ A} \Rightarrow I = 0.91 \text{ A}$$

**راه حل دوم:** استفاده از رابطه‌ی:  $P = \frac{V^2}{R}$  ابتدا مقاومت

اهمی هر یک از مصرف کننده‌ها را با استفاده از رابطه‌ی توان

محاسبه می‌کنیم:

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{V_1^2}{P_1} = \frac{(110)^2}{100} = 121 \Omega$$

برای مقاومت  $R_2$  نیز با همین روش عمل می‌کنیم:

$$R_2 = \frac{V_2^2}{P_2} = \frac{(110)^2}{100} = 121 \Omega$$

مقدار مقاومت کل را محاسبه می‌کنیم:

$$R = R_1 + R_2 = 121 + 121 = 242 \Omega$$

$$I = I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_T} = \frac{E}{R_T}$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{12}{570} = 0.021 \text{ A} \Rightarrow I = 0.021 \text{ A}$$

برای تبدیل جریان بر حسب میلی‌آمپر، مقدار جریان بر

حساب آمپر را در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌کنیم:

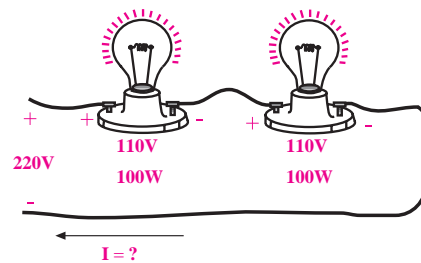
$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA} = 10^3 \text{ mA}$$

$$I = 0.021 \times 1000 = 21 \text{ mA} \Rightarrow I = 21 \text{ mA}$$

**مثال ۲۲:** در شکل ۹۸-۲ دو عدد لامپ ۱۱۰ ولت، ۱۰۰

وات با هم سری شده‌اند و به ولتاژ ۲۲۰ ولت اتصال دارند.

جریان عبوری از هر لامپ چند آمپر است؟



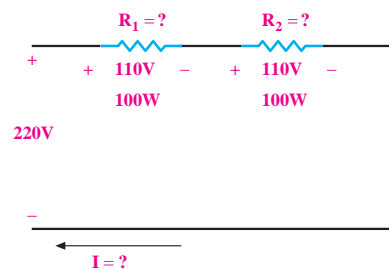
شکل ۹۸-۲

**حل:**

می‌توانیم به جای دو عدد لامپ، دو عدد مقاومت در نظر

بگیریم و به جای مدار عملی شکل ۹۸-۲ از نقشه‌ی فنی مدار

شکل ۹۹-۲ برای محاسبات استفاده کنیم.



شکل ۹۹-۲

برای حل مسئله سه روش وجود دارد، روش اول استفاده

جریان مدار را به دست می آوریم:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{220}{242} = 0.91A \Rightarrow I = 0.91A$$

ولتاژ دو سر  $R_1$  را به دست می آوریم:

$$V_1 = R_1 \cdot I = 10 \times 0.91 = 9.1V$$

با استفاده از قانون حلقه‌ی KVL مقدار ولتاژ  $V_p$  را

محاسبه می کنیم:

$$E - V_1 - V_p = 0$$

$$12 - 9.1 - V_p = 0 \Rightarrow V_p = 2.9(V)$$

با استفاده از قانون اهم مقدار  $R_p$  را به دست می آوریم:

$$V_p = R_p \cdot I \Rightarrow 2.9 = R_p \times 0.91$$

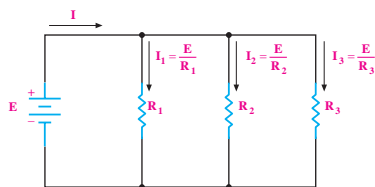
$$R_p = \frac{2.9}{0.91} = 3.18\Omega \Rightarrow R_p = 3.18\Omega$$

## ۲-۱۰-۲ محاسبه جریان و توان در مدار موازی

جریان در هر شاخه‌ی یک مدار موازی به نسبت عکس مقدار مقاومت‌های هر شاخه تقسیم می شود، زیرا طبق قانون اهم،  $I = \frac{V}{R}$  است. در مدار موازی جریانی که از منبع کشیده می شود، بین مقاومت‌ها تقسیم می شود. یا به عبارت دیگر داریم:

$I =$	$I_1$	$+I_2$	$+I_n$
جریانی که از منبع کشیده می شود	جریان عنصر اول	جریان عنصر دوم	جریان عنصر n ام

جریان در مدار موازی بین عناصر به نسبت عکس مقدار اهمی مقاومت‌ها تقسیم می شود، شکل ۲-۱۰۱.



شکل ۲-۱۰۱ جریان  $I$  به نسبت عکس مقدار اهمی مقاومت‌ها تقسیم می شود.

راه حل سوم: می دانیم جریان در مدار سری یکسان

است:

$$I = I_1 = I_2$$

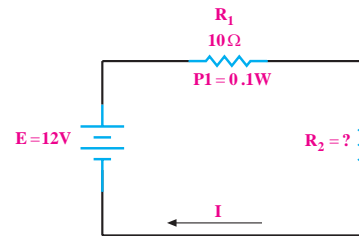
با استفاده از رابطه‌ی  $I = \frac{P}{V}$  مقدار  $I$  را محاسبه می کنیم:

$$I = \frac{P_1}{V_1} = \frac{100}{110} = 0.91A \Rightarrow I = 0.91A$$

همان‌طور که مشاهده می شود، مقدار جریان از سه روش

یکسان است.

مثال ۲۳: در شکل ۲-۱۰۰ مقاومت  $R_p$  چند اهم است؟



شکل ۲-۱۰۰

حل:

رابطه‌ی توان را برای  $R_1$  می نویسیم:

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 = R_1 \cdot I^2$$

مقادیر  $R_1$  و  $P$  را در رابطه قرار می دهیم و مقدار  $I$  را

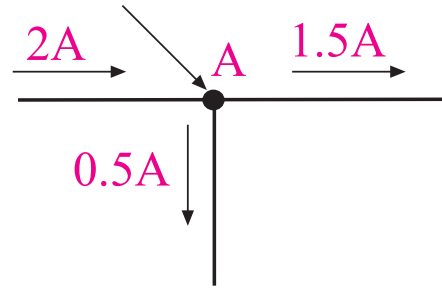
محاسبه می کنیم:

$$0.1 = 10 \cdot I^2 \Rightarrow I^2 = \frac{0.1}{10} = 0.01$$

$$I = 0.1A$$

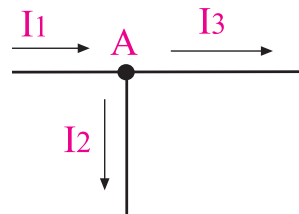
### ۳-۱۰-۲- قانون جریان کریشف (KCL)

طبق این قانون (KCL) جمع جبری جریان‌هایی که در یک مدار الکتریکی به یک نقطه وارد می‌شوند برابر با صفر است، یا به معنی دیگر، جمع جریان‌هایی که به یک نقطه وارد می‌شوند برابر جمع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند، شکل ۲-۱۰۲.



شکل ۲-۱۰۲

در شکل ۲-۱۰۲ جریانی برابر ۲ آمپر به نقطه‌ی A وارد می‌شود و جریان‌های ۰/۵ و ۱/۵ آمپری (۰/۵ A + ۱/۵ A) از آن نقطه خارج می‌شود. جریان‌های وارده به نقطه یا گره (NODE) را معمولاً با علامت مثبت (+) و جریان‌هایی که از نقطه یا گره خارج می‌شوند با علامت منفی (-) نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۲-۱۰۳ مشاهده می‌شود، مجموع جریان‌های ورودی به گره ۲A و جریان خارج شده از گره نیز ۲A است.



شکل ۲-۱۰۳

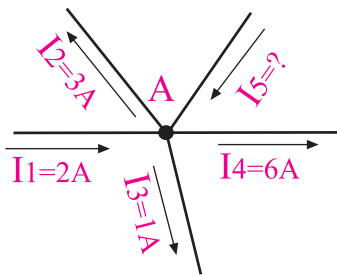
$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

رابطه‌ی بالا را به صورت زیر نیز می‌توانیم بنویسیم:

$$\sum I = 0$$

می‌خوانیم: زیگمای I برابر صفر است.

مثال ۲۴: در شکل ۲-۱۰۴ جریان I<sub>۵</sub> چند آمپر است؟



شکل ۲-۱۰۴

حل:

قانون KCL را در گره A می‌نویسیم:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

به جای جریان‌ها مقدار عددی می‌گذاریم:

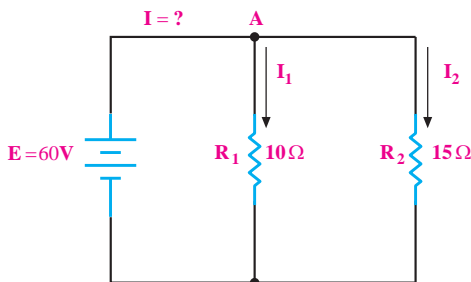
$$2 - 3 - 1 - 6 + I_5 = 0$$

جریان I<sub>۵</sub> را به دست می‌آوریم:

$$2 - 10 + I_5 = 0$$

$$I_5 = 8 \text{ A}$$

مثال ۲۵: در شکل ۲-۱۰۵ جریان I چند آمپر است؟



شکل ۲-۱۰۵

حل:

قانون KCL را در گره A می‌نویسیم:

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

مقدار جریان  $I_1$  و  $I_2$  را با استفاده از قانون اهم محاسبه می کنیم:

مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  برابر با  $E$  است، مقادیر  $I_1$  و  $I_2$  را محاسبه می کنیم:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{6/875}{1000} = 0.006875 \text{ A} = 6/875 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_1 = 6/875 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{6/875}{2200} = 0.003125 \text{ A} = 3/125 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_2 = 3/125 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A} \Rightarrow I_1 = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{60}{15} = 4 \text{ A} \Rightarrow I_2 = 4 \text{ A}$$

مقادیر  $I_1$  و  $I_2$  را در رابطه ی KCL قرار می دهیم و مقدار

$I$  را حساب می کنیم:

$$I - 6 - 4 = 0$$

$$I - 10 = 0 \Rightarrow I = 10 \text{ A}$$

**راه حل دوم:** با استفاده از روابط زیر که به تقسیم جریان

بین دو شاخه ی موازی مشهور است می توانیم جریان های  $I_1$  و

$I_2$  را محاسبه کنیم:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{و} \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

ابتدا مقدار  $I_1$  را محاسبه می کنیم:

$$I_1 = 10 \text{ mA} \frac{2200}{1000 + 2200} = 6/875 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_1 = 6/875 \text{ mA}$$

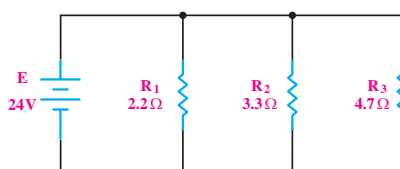
مقدار جریان  $I_2$  را محاسبه می کنیم:

$$I_2 = 10 \text{ mA} \frac{1000}{1000 + 2200} = 3/125 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_2 = 3/125 \text{ mA}$$

**مثال ۲۷:** توان تلف شده در هر مقاومت شکل ۲-۱۰۷ و

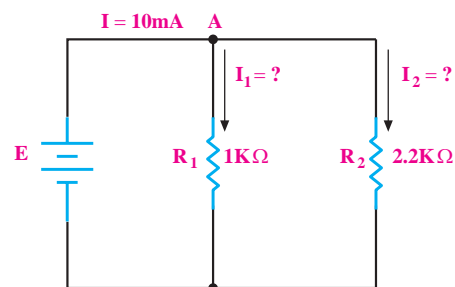
توان مصرفی کل مدار چند وات است؟



شکل ۲-۱۰۷

**مثال ۲۶:** در شکل ۲-۱۰۶ مقدار جریان های  $I_1$  و  $I_2$  را

به دست آورید.



شکل ۲-۱۰۶

**راه حل اول:**

با توجه به مقادیر  $R_1$  و  $R_2$ ، مقدار  $R_T$  را محاسبه می کنیم:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687/5 \Omega$$

ولتاژ  $E$  را محاسبه می کنیم:

$$E = 687/5 \times 10 \times 10^{-3} = 6/875 \text{ V}$$

با توجه به این که مدار موازی است و ولتاژ دو سر

حل:

با استفاده از رابطه‌ی مقدار توان را در هر یک از مقاومت‌ها محاسبه می‌کنیم:

$$P_1 = \frac{E^2}{R_1} = \frac{(24)^2}{2/2} = 261/8 W \Rightarrow P_1 = 261/8 W$$

$$P_2 = \frac{E^2}{R_2} = \frac{(24)^2}{3/3} = 174/5 W \Rightarrow P_2 = 174/5 W$$

$$P_3 = \frac{E^2}{R_3} = \frac{(24)^2}{4/7} = 122/5 W \Rightarrow P_3 = 122/5 W$$

توان کل برابر است با مجموع توان‌های مصرفی در هر مقاومت:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_T = 261/8 + 174/5 + 122/5 = 558/8 W$$

$$R_T = 558/8 W$$

**نکته ۲:** در مدارهای الکتریکی و

الکترونیکی آمپر متر به صورت سری با مقاومت و سایر قطعات قرار می‌گیرد.

### ۱۱-۲ دستگاه اندازه‌گیری جریان «میلی آمپر متر»

برای اندازه‌گیری جریان، ابتدا کلید سلکتور اصلی را در حالت DC قرار می‌دهیم، اگر حدود جریان مورد اندازه‌گیری از قبل مشخص باشد، رنج مناسب را انتخاب می‌کنیم. مثلاً اگر جریان مورد اندازه‌گیری حدود ۲ mA باشد، رنج را در حالت ۳ mA یا ۵ mA قرار می‌دهیم و مقدار جریان را اندازه می‌گیریم. چنانچه مقدار تقریبی جریان از قبل مشخص نباشد، ابتدا رنج میلی آمپر متر را در بیشترین مقدار خود می‌گذاریم و به تدریج مقدار رنج را کم تر می‌کنیم تا انحراف عقربه در حد مناسب باشد.

هنگام تغییر رنج آمپر متر، حتماً آمپر متر را از مدار جدا کنید.

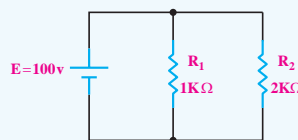
هر آمپر متر مقداری مقاومت داخلی دارد که به علت وجود مقاومت، ممکن است مقدار جریان اندازه‌گیری شده در دو رنج مختلف، تفاوت داشته‌باشد.

انتخاب رنج مناسب در اندازه‌گیری جریان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اندازه‌گیری جریان در مولتی مترهای دیجیتالی، معمولاً به صورت اتوماتیک نیست. در هنگام اندازه‌گیری جریان باید تغییر رنج (حوزه‌ی کار) به صورت دستی انجام شود. برای اندازه‌گیری جریان در این دستگاه‌ها، ابتدا سلکتور را در

**تمرین کلاسی ۵:** توان تلف شده در

هر مقاومت در شکل ۱۰۸-۲ و توان مصرفی کل مدار چند وات است؟



شکل ۱۰۸-۲

**نکته ۱:** برای اندازه‌گیری جریان در

مدارهای الکتریکی از آمپر متر استفاده می‌شود.

## ۱۲-۲ آزمایش شماره‌ی (۳)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۱۲-۲-۱ هدف آزمایش:

اندازه‌گیری جریان در مدارهای سری و موازی و تحقیق

عملی قانون KCL، تأثیر تغییر ولتاژ روی مقاومت VDR

### ۱۲-۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات تجهیزات	تعداد/مقدار
۱	منبع تغذیه ۱A-۱۵V-۰	یک دستگاه
۲	مولتی متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۳	مقاومت‌های $۲۲۰\Omega$ ، $۵۶۰\Omega$ از هر کدام	یک عدد
۴	مقاومت وابسته به ولتاژ (VDR)	یک عدد
۵	سیم‌های دو سرگیره سوسماری	چهار رشته
۶	سیم‌های یک سرگیره سوسماری	چهار رشته
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۱۲-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش

#### موضوع الف- اندازه‌گیری جریان در مدار

##### سری

- ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.
- مداری مطابق شکل ۱۱۰-۲ را روی بردبرد ببندید.

#### توجه

برای اندازه‌گیری جریان، فقط از یک مولتی متر و به صورت مرحله‌ای استفاده کنید.



مقدار ماکزیمم قرار دهید. اگر مقدار جریان توسط تمامی ارقام صفحه‌ی نمایش نشان داده نشد، مولتی متر را از مدار جدا کنید سپس رنج مولتی متر را به تدریج کم کنید.

درضمن در بسیاری از مولتی مترها، ترمینال جریان از ترمینال ولتاژ جدا است. در این دستگاه‌ها باید جریان را به ترمینال mA و com اعمال کرد.

اگر حدود جریان مورد اندازه‌گیری از قبل مشخص باشد، رنج مناسب را انتخاب کنید. چنانچه مقدار تقریبی جریان از قبل مشخص نبود، ابتدا رنج آمپر متر را در بیشترین مقدار خود قرار دهید.

در شکل ۱۰۹-۲ یک نمونه میلی آمپر متر مالتی رنج با ۱۰ رنج مختلف نشان داده شده است.



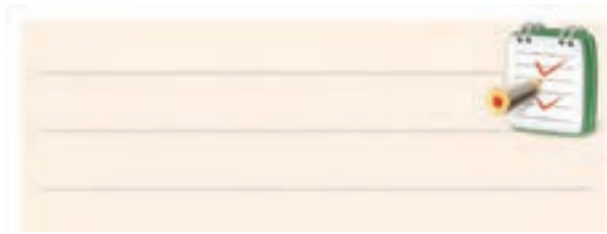
شکل ۱۰۹-۲ یک نمونه میلی آمپر متر آزمایشگاهی

این نمونه میلی آمپر متر آزمایشگاهی است و گران قیمت است. برای اندازه‌گیری از مولتی متر استفاده کنید.



## سوال ۱۹: آیا هر سه جریان یکسان هستند؟ چرا؟

توضیح دهید؟



### توجه

آمپر متر در مدار به صورت سری به قطعات وصل می شود.



### توجه

هنگام تغییر رنج آمپر متر حتما آن را از مدار جدا کنید، یا جریان برق را قطع کنید.



## موضوع ب- تحقیق روی قانون KCL و

### اندازه گیری جریان در مدار موازی

■ ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.

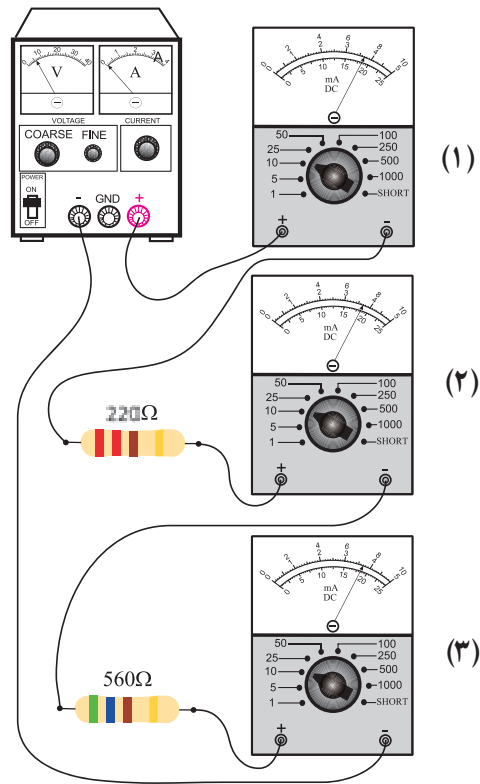
■ مداری مطابق شکل ۱۱۱-۲ ببندید.

■ میلی آمپر متر را ابتدا مطابق شکل ۱۱۱-۲ به صورت

سری به ورودی منبع تغذیه ی حالت (۱) اتصال دهید و مقدار

جریان مدار را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$I_{کل} = I_1 = \dots\dots\dots \text{mA}$$



شکل ۱۱۰-۲

■ رنج میلی آمپر متر را روی ۱۰ mA بگذارید.

■ منبع تغذیه را روی ۶ ولت تنظیم کنید.

■ جریانی که میلی آمپر متر در حالت های مختلف نشان

می دهند را بخوانید و یادداشت کنید.

جریانی که میلی آمپر در  $I_{کل} = I_1 = \dots\dots\dots \text{mA}$

حالت (۱) نشان می دهد.

جریانی که میلی آمپر در  $I_2 = \dots\dots\dots \text{mA}$

حالت (۲) نشان می دهد.

جریانی که میلی آمپر در  $I_3 = \dots\dots\dots \text{mA}$

حالت (۳) نشان می دهد.

طبق شکل ۱۱۱-۲ (حالت ۳) میلی آمپر متر را به طور سری به مقاومت  $560 \Omega$  وصل کنید و جریان را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

■ رنج میلی آمپر متر حالت (۱) را روی  $50 \text{ mA}$  قرار دهید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی  $5 \text{ V}$  تنظیم کنید.

■ مقادیری که میلی آمپر متر نشان می دهند را بخوانید و یادداشت کنید.

$$I_{\text{کل}} = I_1 = I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

حالت (۱) نشان می دهد.

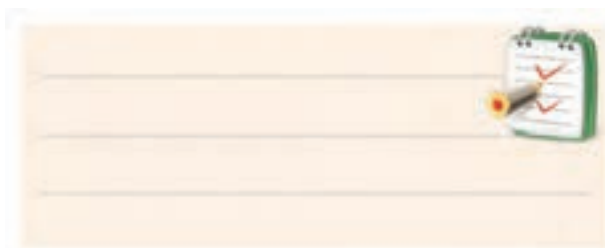
$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

حالت (۲) نشان می دهد.

$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

حالت (۳) نشان می دهد.

**سؤال ۲۰:** با توجه به نتایج آزمایش بالا، رابطه  $I_1 = I_p + I_p$  تأیید می شود؟ چرا؟ توضیح دهید.



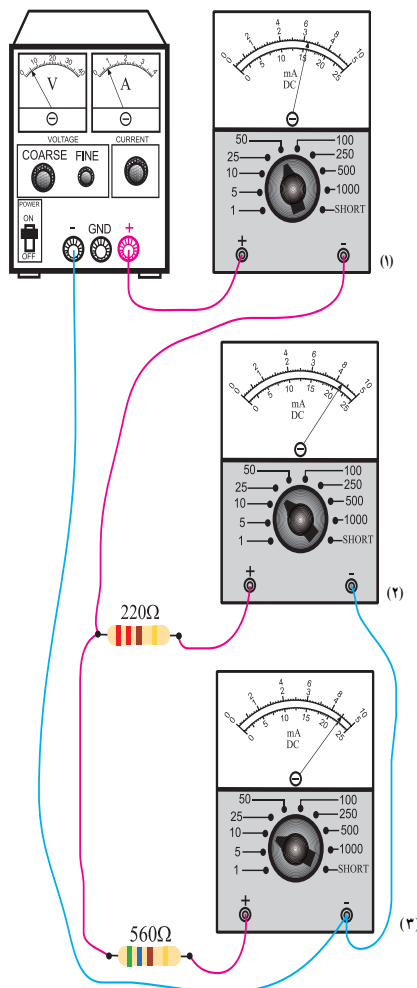
■ ولتاژ منبع تغذیه را کمی کم کنید تا میلی آمپر متر در حالت (۱) جریان  $10 \text{ mA}$  را نشان دهد.

■ جریان های مقاومت  $220 \Omega$  (حالت ۲) و  $560 \Omega$  را

(حالت ۳) اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

### توجه

در هر مرحله که مولتی متر (میلی آمپر متر) را از مدار جدا می کنید، محل اتصال دو سیم، مولتی متر را با یک قطعه سیم، اتصال کوتاه کنید.



شکل ۱۱۱-۲

■ طبق شکل ۱۱۱-۲ (حالت ۲)، میلی آمپر متر را به طور

سری به مقاومت  $220 \Omega$  وصل کنید و جریان را اندازه گیری و یادداشت کنید.

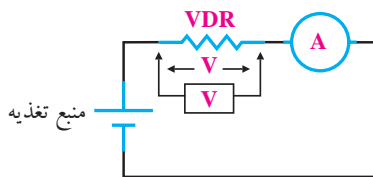
$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

## موضوع ج- بررسی اثر تغییرات ولتاژ روی مقاومت اهمی وابسته به ولتاژ (VDR)

در صورت موجود بودن مقاومت VDR و نیز دسترسی به منبع ولتاژ DC با رنج بالا، این آزمایش را می‌توانید انجام دهید.

■ مقدار ولتاژ ورودی منبع تغذیه را روی ۳۰ ولت تنظیم کنید.

■ مدار شکل ۲-۱۱۲ را روی بردبرد ببندید.



۲-۱۱۲

■ یک ولت‌متر به طور موازی به دو سر مقاومت VDR وصل کنید و ولتاژ دو سر آن را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{VDR} = \dots\dots\dots (V)$$

■ با تغییر ولتاژ منبع تغذیه مطابق جدول زیر، در هر مرحله مقدار ولتاژ دو سر مقاومت و نیز جریان عبوری از مدار را اندازه بگیرید و در جدول ۲-۵ یادداشت کنید.

جدول ۲-۵

مرحله	$E_{(volt)}$	$V_{VDR}(V)$	$I_{(A)}$	$R_{VDR}(\Omega)$
۱	۳۰			
۲	۵۰			
۳	۱۰۰			
۴	۱۵۰			

جریانی که میلی‌آمپر متر در حالت (۱) نشان می‌دهد.  $I_{I_1} = I_1 = 10 \text{ mA}$

جریانی که میلی‌آمپر متر در حالت (۲) نشان می‌دهد.  $I_2 = \dots\dots\dots \text{ mA}$

جریانی که میلی‌آمپر متر در حالت (۳) نشان می‌دهد.  $I_3 = \dots\dots\dots \text{ mA}$

**سوال ۲۱:** آیا رابطه  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$  (قانون KCL) با

توجه به مقادیر به دست آمده در مدار شکل ۲-۱۱۱ صادق است؟ توضیح دهید.

**سوال ۲۲:** آیا رابطه تقسیم جریان به دو شاخه‌ی

موازی در مدار شکل ۲-۱۱۱ صادق است؟ توضیح دهید.

$$\left[ \begin{array}{l} I_1 = I_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ I_2 = I_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{array} \right.$$

## ۱۳-۲ پیل‌ها و باتری‌ها

پیل وسیله‌ای است که انرژی را به صورت انرژی شیمیایی ذخیره و هنگام تحویل به مصرف کننده، آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. از اتصال چند پیل الکتروشیمیایی، یک باتری تشکیل می‌شود. در بین عامه به اشتباه از اصطلاح باتری به جای پیل استفاده می‌شود.

### ۱-۱۳-۲ انواع پیل

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان پیل‌ها را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرد.

پیل‌های اولیه پیل‌هایی هستند که قابل شارژ مجدد نیستند و پس از اتمام عمر مفید، باید آن‌ها را دور انداخت. از پیل‌های اولیه که به صورت پیل یا باتری ساخته می‌شود می‌توان انواع باتری‌های ساعت مچی یا باتری‌های چراغ قوه را نام برد.

پیل‌های ثانویه پیل‌های قابل شارژ هستند. پس از خالی شدن، مجدداً می‌توان آن‌ها را با جریان DC شارژ کرد. پیل‌های ثانویه را به صورت باتری می‌سازند. از انواع باتری‌های ثانویه می‌توان به باتری خودرو اشاره کرد که در انواع مختلف ساخته می‌شود.

### ۲-۱۳-۲ پیل‌های اولیه

پیل‌های اولیه در صنعت اصطلاحاً تحت عنوان «پیل‌های خشک» معروف هستند. و مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:

#### الف: پیل روی-کربن

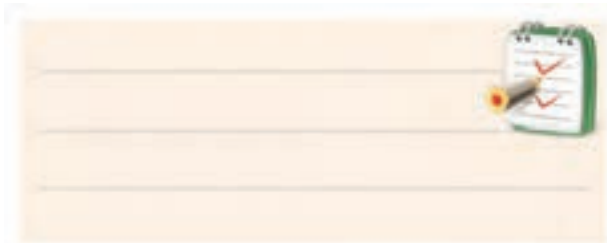
پیل روی-کربن یکی از رایج‌ترین پیل‌ها و از انواع پیل اولیه و غیر قابل شارژ است. این پیل‌ها که در اندازه‌های قلمی، متوسط و بزرگ با کاربردهای گوناگون تولید و به بازار عرضه می‌شود. ولتاژ پیل روی-کربن ۱/۵ ولت است و به ابعاد پیل بستگی ندارد. به پیل روی-کربن پیل لکلانسه نیز

■ با استفاده از رابطه‌ی  $R = \frac{V}{I}$  مقدار مقاومت VDR

را در هر مرحله محاسبه کنید و در جدول ۵-۲ بنویسید.

**سوال ۲۳:** مقادیری را که برای مقاومت VDR در

هر مرحله به دست آورده‌اید، مقایسه کنید و درباره‌ی نتیجه توضیح دهید.



### ۴-۱۲-۲ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

الف -

ب -

ج -

### ج: پیل های لیتیوم (Lithium)

نوع دیگری از پیل های یک بار مصرف، پیل های لیتیوم هستند که اخیراً نوع قابل شارژ آن نیز ساخته شده است. از ویژگی این نوع پیل ها، ولتاژ خروجی زیاد (۲/۹ تا ۳/۷ ولت بستگی به الکترولیت آن)، طول عمر زیاد (۵ تا ۷ سال)، وزن کم و حجم کم آن است. از این رو از این باتری در ساعت های مچی و کاربردهای ویژه ای مشابه استفاده می شود. شکل ۲-۱۱۵ نمونه هایی از انواع پیل و باتری لیتیوم را نشان می دهد.



شکل ۲-۱۱۵ انواع پیل و باتری لیتیوم

پیل های لیتیوم را به صورت باتری نیز می سازند .

### د: پیل اکسید نقره

این نوع پیل از تولیدات دهه ای اخیر است که ولتاژی برابر ۱/۵ ولت دارد. پیل اکسید نقره در ابعاد بسیار کوچک تولید می شود، به همین جهت در ساعت های مچی یا دستگاه های مشابه کوچک که با باتری ۱/۵ ولت کار می کنند مورد استفاده قرار می گیرند.

پیل های اکسید نقره در وسایل الکترونیک با ابعاد کوچک مانند ماشین حساب جیبی نیز کاربرد دارد. شکل ۲-۱۱۶ شکل ظاهری چند نمونه پیل و ساختمان داخل آن را نشان می دهد.

می گویند. شکل ۲-۱۱۳ نمونه هایی از پیل های روی - کربن را نشان می دهد.

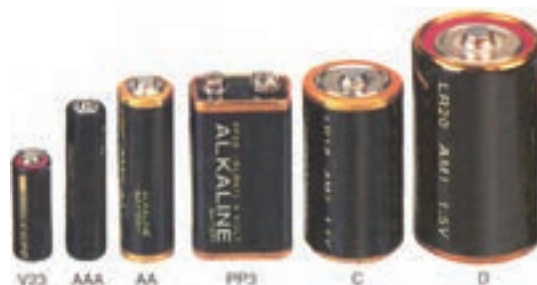


شکل ۲-۱۱۳ پیل های روی - کربن

در بازار به این نوع پیل ها به غلط باتری می گویند.

### ب: پیل قلیایی (آلکالین)

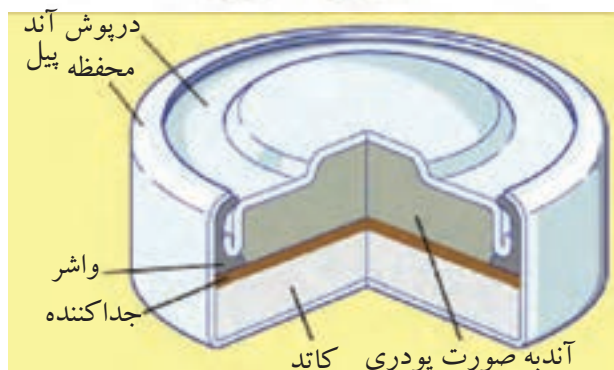
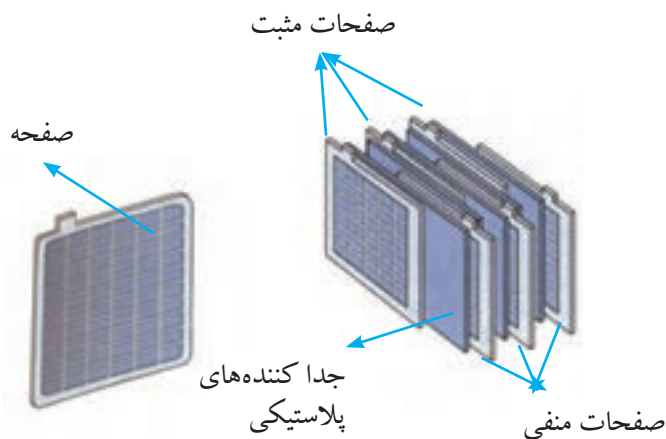
ولتاژ پیل قلیایی مانند پیل روی - کربن ۱/۵ ولت است. با ابعاد مشابه، پیل قلیایی می تواند گنجایش جریانی دو تا پنج برابر پیل روی - کربن را داشته باشد. همچنین در اثر کشیدن جریان، ولتاژ پیل قلیایی افت کمتری نسبت به پیل روی - کربن دارد) زیرا مقاومت داخلی کوچکتری دارد). بنابراین در جایی که جریان بیشتر، همراه با عمر بیشتر، مورد نظر باشد می توان از باتری قلیایی به جای باتری روی - کربن استفاده کرد. شکل ۲-۱۱۴ چند نمونه از باتری قلیایی را نشان می دهد.



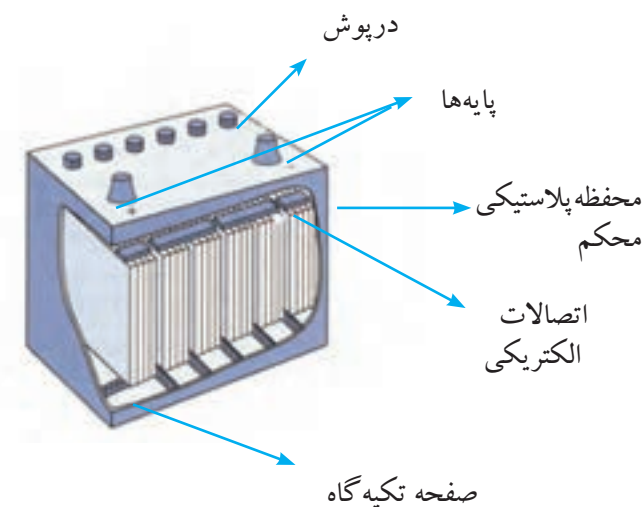
شکل ۲-۱۱۴ چند نمونه پیل قلیایی

### پیل سرب-اسید

پیل سرب-اسید یکی از قدیمی ترین و رایج ترین پیل ها و از نوع ثانویه و قابل شارژ شدن است. در باتری های به کار رفته در اکثر اتومبیل ها از این نوع پیل استفاده می شود. در شکل ۱۱۷-۲ ساختمان داخلی باتری سرب-اسید را مشاهده می کنید که معمولاً در اتومبیل به کار می رود.



شکل ۱۱۶-۲ شکل ظاهری چند نمونه پیل اکسید نقره و ساختمان داخلی آن



شکل ۱۱۷-۲ ساختمان باتری سرب-اسید



الساندرو ولتا (۱۷۴۵-۱۸۲۷) واحد اختلاف پتانسیل (ولتاژ) به نام اوست و پیل روی-کربن (ولتا) را ساخته است.

### ۳-۱۳-۲ پیل های ثانویه

پیل های ثانویه، قابلیت پر شدن (شارژ) و خالی شدن (دشارژ) مکرر را دارند. از انواع این نوع پیل ها می توان پیل های سرب-اسید و نیکل-کادمیوم را نام برد.

### پیل های نیکل-کادمیوم

این پیل نیز از انواع پیل های ثانویه است و قابلیت شارژ شدن را دارد. ولتاژ نامی این پیل دربار کامل ۱/۲ ولت و در حالت بی باری ۱/۳ تا ۱/۳۸ ولت است. میزان جریان دهی لحظه ای

## ۱۴-۲ اتصال پیل‌ها

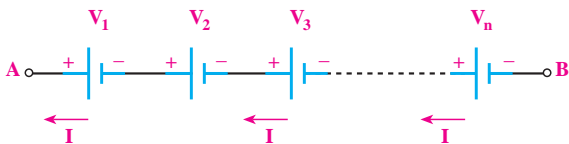
### ۱۴-۱-۲ اتصال سری پیل‌ها

اگر پیل‌ها را طوری به هم وصل کنیم که قطب منفی هریک به قطب مثبت دیگری اتصال داشته باشد و این روش اتصال تا آخرین پیل ادامه یابد، این نوع اتصال را «اتصال سری» موافق پیل‌ها می‌نامند، شکل ۲-۱۲۰.



شکل ۲-۱۲۰ اتصال سری پیل‌ها

جریان عبوری از مدار چند پیل که با هم سری شده‌اند، برای همه‌ی پیل‌ها مساوی است. ولتاژ کل پیل‌های سری در شکل ۲-۱۲۱ از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

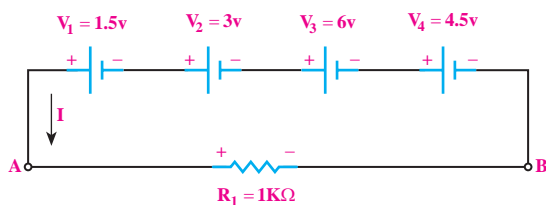


شکل ۲-۱۲۱ جریان عبوری از اتصال سری پیل‌ها

$$V_{AB} = V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

**مثال ۲۸:** هرگاه چهار باتری مانند شکل ۲-۱۲۲ به

صورت سری موافق به هم وصل شوند، ولتاژ کل مدار چه مقدار است؟



شکل ۲-۱۲۲ اتصال چهار باتری به صورت سری

این پیل خیلی زیاد است به دفعات بسیار زیاد می‌تواند شارژ شود. این پیل را می‌توان به‌طور کامل تخلیه و مجدداً شارژ کرد. باتری بسیاری از اتومبیل‌های جدید و همچنین بعضی از تلفن‌های همراه از ترکیب پیل‌های نیکل-کادمیوم است. معمولاً بر روی پیل‌های نیکل - کادمیوم واژه «RECHARGABLE» به معنی قابل شارژ شدن را می‌نویسند. در شکل ۲-۱۱۸ نمونه‌هایی از پیل‌های نیکل - کادمیوم نشان داده شده است.

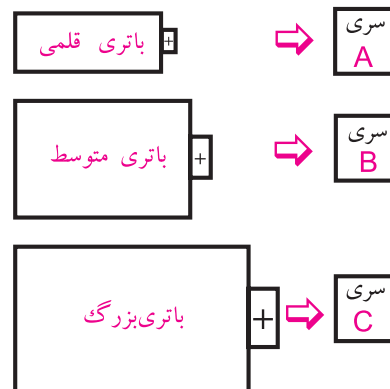


شکل ۲-۱۱۸ پیل نیکل کادمیوم

اندازه‌ی باتری‌های کوچک که مصرف خانگی دارند مانند رادیوهای کوچک، ساعت و غیره را با حروف مشخص می‌کنند.

مثلاً باتری AA بزرگ‌تر از AAA است. در شکل ۲-۱۱۹

نام انواع باتری‌های خانگی در زیر هر یک نوشته شده است.



شکل ۲-۱۱۹ نمادهای انواع پیل‌های قلمی، متوسط و بزرگ

حل:

برای محاسبه‌ی ولتاژ کل باید ولتاژ هر یک از پیل‌ها را با هم جمع کنیم.

$$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

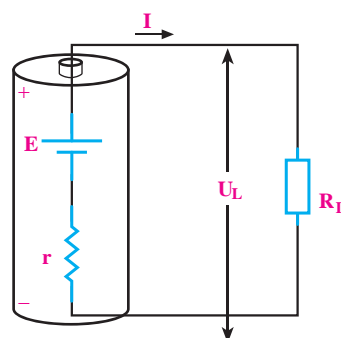
$$V_{AB} = 1/5 + 3 + 6 + 4/5$$

$$V_{AB} = V_T = 15V$$

### ۲-۱۴-۲ مقاومت داخلی پیل‌ها

یک پیل را در نظر می‌گیریم و ابتدا به کمک ولت‌متر، ولتاژ دو سر پیل را اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس این پیل را به دو سر مقاومت وصل می‌کنیم و مجدداً ولتاژ دو سر پیل را اندازه‌گیری می‌گیریم. از مقایسه‌ی ولتاژها در می‌یابیم که ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی دوم از مرحله‌ی اول کم‌تر است. در صورتی که انتظار داشتیم ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله یکسان باشد.

اختلاف ولتاژ حاصل شده در دو مرحله‌ی اندازه‌گیری را این‌گونه تعبیر می‌کنیم که باید حتماً در داخل پیل، مقاومتی وجود داشته باشد که با عبور جریان، مقداری از ولتاژ پیل در دو سر آن افت کرده است و باعث کاهش ولتاژ خروجی پیل در مرحله‌ی دوم شده است. این مقاومت را «مقاومت داخلی پیل» می‌نامند، شکل ۲-۱۲۳. مقاومت داخلی پیل را با حرف  $r$  نمایش می‌دهند. این مقاومت همیشه با مصرف‌کننده به صورت سری قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۱۲۳ مقاومت داخلی باتری

### توجه

در صورتی که بخواهیم ولتاژ کل را افزایش دهیم، پیل‌ها را به طور سری با هم می‌بندیم.



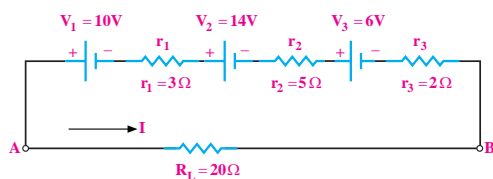
اگر پیل‌های سری شده را به صورت واقعی یعنی با مقاومت داخلی  $r$ ، در نظر بگیریم، اثر مقاومت پیل‌ها در مدار مانند چند مقاومت ظاهر می‌شود.

**مثال ۲۹:** در شکل ۲-۱۲۴ سه باتری به صورت سری، یک مقاومت را تغذیه می‌کند، مطلوب است:

الف- ولتاژ کل مدار

ب- مقاومت داخلی کل باتری‌ها

ج- جریان عبوری از مقاومت  $R_L$



شکل ۲-۱۲۴

حل:

ولتاژ کل را بدون در نظر گرفتن مقاومت‌های داخلی

پیل‌ها محاسبه می‌کنیم:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

(الف)

$$V_T = 10 + 14 + 6 = 30V$$

(ب) چون مقاومت داخلی پیل‌ها به صورت سری با هم

بسته شده‌اند، مقاومت معادل آن را به دست می‌آوریم.

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3$$

$$r_T = 3 + 5 + 2 = 10\Omega$$

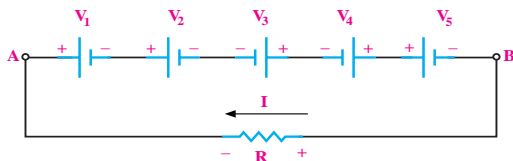


ج) طبق قانون اهم جریان از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I_L = \frac{V_{AB}}{R_L + r_T} = \frac{30}{20 + 10}$$

$$\Rightarrow I_L = 1A$$

پیل‌ها و قطب‌های مثبت و منفی افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها مشخص باشد. معمولاً قطب‌های مولد یا منابع از ابتدا مشخص است. یک جهت قراردادی را برای جریان مدار در نظر می‌گیریم و براساس جهت قراردادی جریان، قطب‌های افت ولتاژ را در مصرف‌کننده‌ها تعیین می‌کنیم. در نقطه‌ای که جریان وارد مصرف‌کننده می‌شود براساس جهت قراردادی جریان، آن نقطه مثبت است. در حلقه بسته حرکت می‌کنیم و  $kV_L$  را می‌نویسیم، شکل ۲-۱۲۶.



شکل ۲-۱۲۶ پنج باتری به صورت متقابل وصل شده‌اند.

اگر جهت فلش جریان به قطب مثبت پیل وارد شود آن را مثبت و اگر به قطب منفی پیل وارد شود آن را منفی در نظر می‌گیریم. در مدار شکل ۲-۱۲۶ معادله‌ی  $KVL$  به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$V_1 + V_2 - V_3 - V_4 + V_5 + RI = 0$$

### توجه

در این مدار نیز به جهت قراردادی جریان برای نوشتن  $KVL$  توجه شده است.



### ۲-۱۴-۴ اتصال موازی پیل‌ها

هر گاه تعدادی پیل را طوری به هم اتصال دهیم که قطب مثبت همه پیل‌ها به یکدیگر و قطب منفی آن‌ها نیز به هم متصل شوند، این نوع اتصال را «اتصال موازی» می‌گویند، شکل ۲-۱۲۷.

### توجه

اگر ولتاژ پیل‌های سری شده با هم برابر باشند، ولتاژ کل آن‌ها از رابطه‌ی  $V_T = n \cdot V$  محاسبه می‌شود.



### ۲-۱۴-۳ اتصال متقابل (سری مخالف) پیل‌ها

یکی دیگر از روش‌هایی که می‌توان پیل‌ها را به صورت سری به هم اتصال داد، حالت اتصال سری مخالف است. در این روش نحوه‌ی اتصال قطب‌های مثبت و منفی پیل‌ها، ترتیب خاصی ندارد و ممکن است قطب‌های هم نام به هم وصل شوند یا قطب‌های غیر هم نام به یکدیگر اتصال داده شوند. به عبارت دیگر در این نوع اتصال، تعدادی از پیل‌ها به صورت سری مخالف (منفی به منفی و مثبت به مثبت) بسته می‌شوند، شکل ۲-۱۲۵.



شکل ۲-۱۲۵

چنانچه بخواهیم برای افزایش ولتاژ یا افزایش جریان چند پیل را به صورت سری یا موازی ببندیم، باید مشخصات پیل‌ها، کاملاً با هم مشابه باشد. برای محاسبه‌ی ولتاژ کل مدار، باید قطب‌های مثبت و منفی

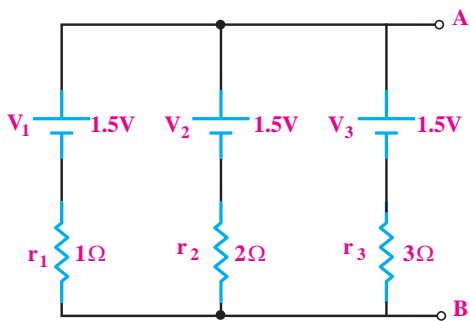
از طرفی چون پیل‌ها مساوی هستند، می‌توانیم از رابطی زیر نیز استفاده کنیم:

$$r_{AB} = r_T = \frac{r}{n}$$

**مثال ۳۰:** در مدار شکل ۲-۱۲۹ مطلوب است:

الف) کاربرد مدار

ب) مقاومت داخلی کل پیل‌ها از دو نقطه‌ی A و B



شکل ۲-۱۲۹

**حل:**

الف) چون پیل‌ها موازی هستند، جریانی بیشتر از جریان یک پیل به بار می‌رسد.

ب) مقاومت داخلی کل از رابطی موازی به دست می‌آید:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

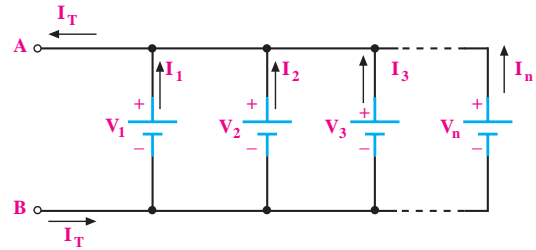
مقادیر مقاومت‌های داخلی پیل‌ها را در رابطه جایگزین

می‌کنیم:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{6+3+2}{6} = \frac{11}{6}$$

$$r_T = 0.54\Omega$$



شکل ۲-۱۲۷

از اتصال موازی پیل‌ها زمانی استفاده می‌شود که جریان مورد نیاز بیشتر از میزان جریان دهی یک پیل باشد.

در اتصال موازی پیل‌ها، ولتاژ دو سر مدار ثابت است.

در اتصال موازی پیل‌ها داریم:

$$V_{AB} = V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

از طرفی چون پیل‌ها از نظر ولتاژ یکسان هستند پس

می‌توانیم بنویسیم:

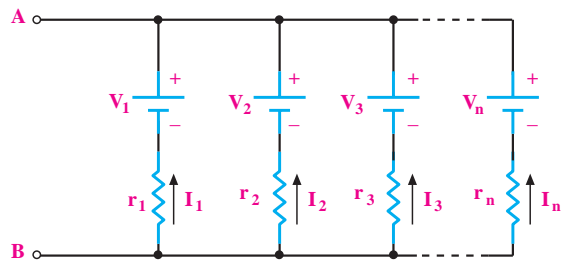
$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \Rightarrow I_T = nI$$

اگر مقاومت داخلی هر پیل را نیز برابر در نظر بگیریم،

مداری مطابق شکل ۲-۱۲۸ به دست می‌آید. در این مدار،

مقاومت معادل پیل‌ها، مشابه مقاومت‌های موازی قابل محاسبه

است و از رابطی زیر حساب می‌شود:



شکل ۲-۱۲۸

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

## ۱۵-۲ آزمایش شماره (۴)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱-۱۵-۲ هدف آزمایش:

اتصال سری و موازی پیل‌ها به صورت عملی.

### ۲-۱۵-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و موارد مورد نیاز:

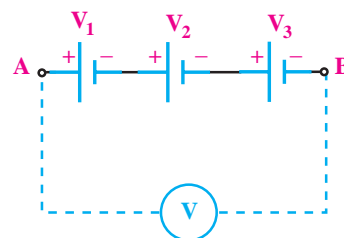
ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	ولت متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	پیل قلمی ۱/۵ ولتی	سه عدد
۳	مقاومت $1K\Omega$ ، $1W$	یک عدد
۴	بردبرد	یک قطعه
۵	سیم‌های دو سرگیره سوسماری	پنج رشته
۶	سیم رابط تلفنی	به مقدار لازم
۷	سیم چین	یک عدد
۸	سیم لخت کن	یک عدد

### ۳-۱۵-۲ مراحل اجرای آزمایش:

#### موضوع الف- به هم بستن سری پیل‌ها

با استفاده از ولت متر دیجیتالی، ولتاژ DC پیل‌ها را

اندازه بگیرید و یادداشت کنید، شکل ۱۳۰-۲.



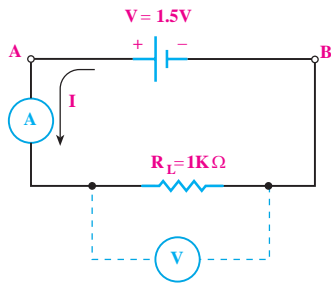
شکل ۱۳۰-۲

$$V_1 = \dots\dots\dots V$$

$$V_2 = \dots\dots\dots V$$

$$V_3 = \dots\dots\dots V$$

مدار شکل ۱۳۱-۲ را روی برد برد ببندید.



شکل ۱۳۱-۲

ابتدا به کمک مولتی متر دیجیتالی، ولتاژ دو سر

مقاومت  $R_L$  را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{R_L} = \dots\dots\dots V$$

رنج دستگاه اندازه گیری را جهت اندازه گیری جریان

آماده کنید.

مولتی متر دیجیتالی را در حوزه‌ی کار آمپرمتر به

صورت سری در مدار قرار دهید و جریان را اندازه بگیرید

و یادداشت کنید.

$$I_{R_L} = \dots\dots\dots A$$

**سؤال ۲۴:** آیا ولتاژ اندازه گیری شده دو سر پیل با

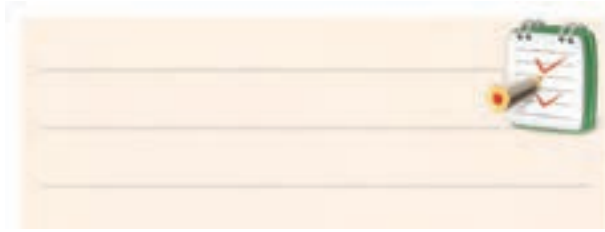
ولتاژ اندازه گیری شده دو سر مقاومت یکی است؟

در هر صورت پاسخ خود را شرح دهید.



**سؤال ۲۶:** آیا بین مقدار این ولتاژ و  $V_{AB}$  که قبلاً

اندازه گیری کردید، تفاوتی وجود دارد؟ چرا؟



■ مولتی متر دیجیتالی را برای اندازه گیری جریان در

حوزه کار آمپر متر قرار دهید.

■ جریان مدار شکل ۲-۱۳۳ را اندازه بگیرید و یادداشت

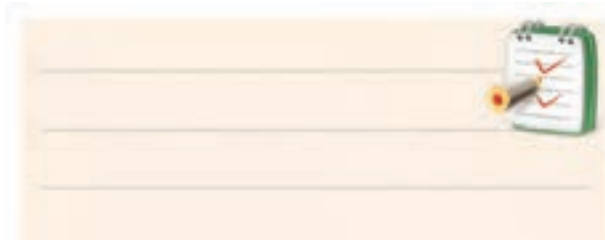
کنید.

$$I_{AB} = \dots\dots\dots A$$

**سؤال ۲۷:** جریان در این مرحله که سه پیل در مدار

وجود دارد نسبت به مرحله ای که فقط یک پیل در مدار

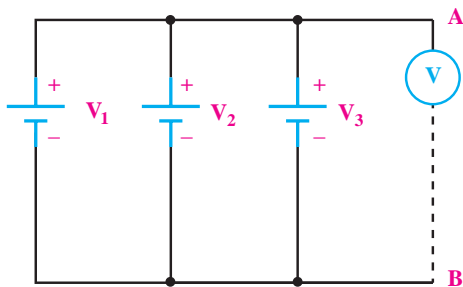
وجود داشت، چه تغییری کرده است؟ شرح دهید.



**موضوع ب- اتصال موازی پیل ها و اندازه گیری**

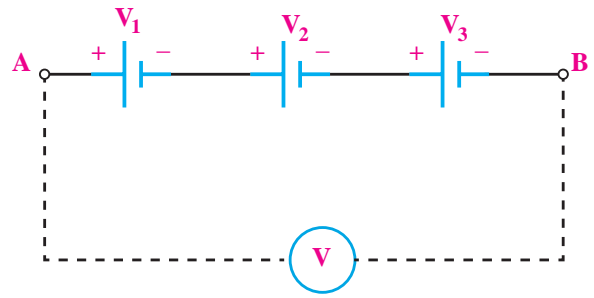
**مقادیر ولتاژ و جریان**

■ مدار شکل ۲-۱۳۴ را ببینید.



شکل ۲-۱۳۴

■ سه پیل را به صورت مدار شکل ۲-۱۳۲ اتصال دهید.



شکل ۲-۱۳۲

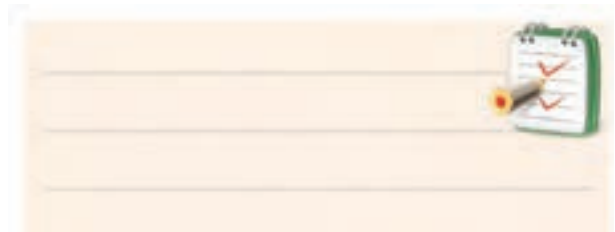
■ با ولت متر dc، ولتاژ دو نقطه ای A و B را اندازه بگیرید

و یادداشت کنید.

$$V_{AB} = \dots\dots\dots V$$

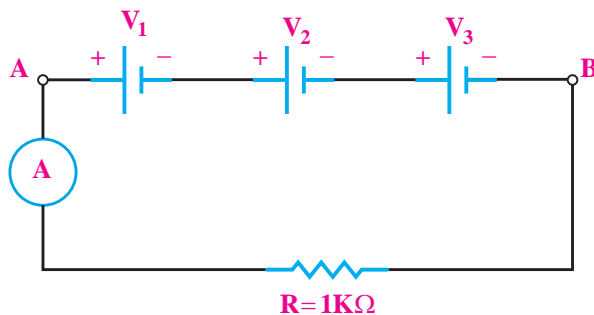
**سؤال ۲۵:** از مقدار ولتاژ به دست آمده چه نتیجه ای

می گیرید؟



■ یک مقاومت  $1K\Omega$  را مانند شکل ۲-۱۳۳ به مدار

اضافه کنید.

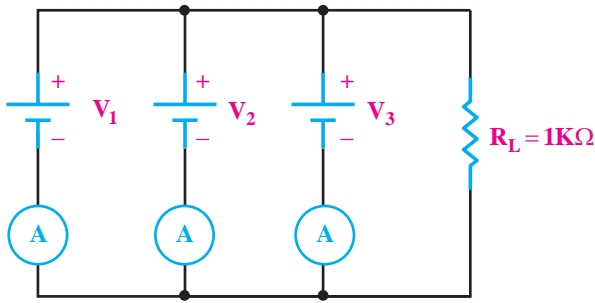


شکل ۲-۱۳۳

■ با مولتی متر دیجیتالی، ولتاژ دو سر مقاومت را اندازه

بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{R_L} = \dots\dots\dots V$$



شکل ۲-۱۳۶

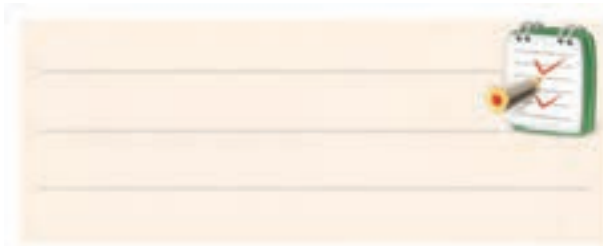
$$I_1 = \dots\dots\dots$$

$$I_2 = \dots\dots\dots$$

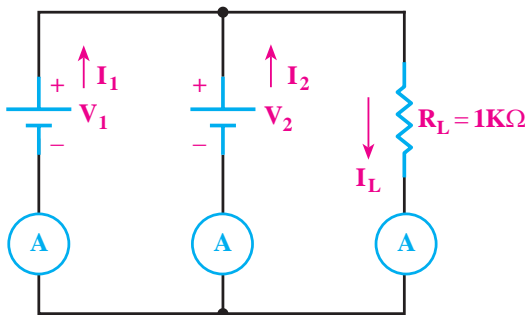
$$I_3 = \dots\dots\dots A$$

**سوال ۲۹:** از مقایسه‌ی جریان‌ها در این دو مرحله چه

نتیجه‌ای می‌گیرید؟ توضیح دهید.



■ مدار شکل ۲-۱۳۷ را با دو پیل و یک مقاومت ببندید.



شکل ۲-۱۳۷

■ با استفاده از مولتی‌متر که در حوزه‌ی کار ولت‌متر DC قرار دارد، ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{R_L} = \dots\dots\dots V$$

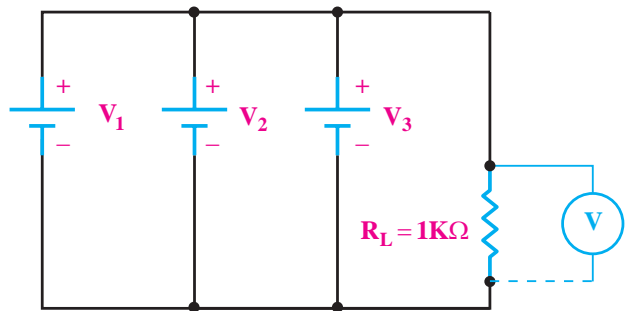
■ با مولتی‌متری که در حوزه‌ی کار ولت DC قرار دارد، ولتاژ دو نقطه‌ی A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{AB} = \dots\dots\dots V$$

■ یک مقاومت  $1K\Omega$  را با پیل‌ها موازی کنید.

■ ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  را با استفاده از مولتی‌متر DC

اندازه بگیرید و یادداشت کنید، شکل ۲-۱۳۵.

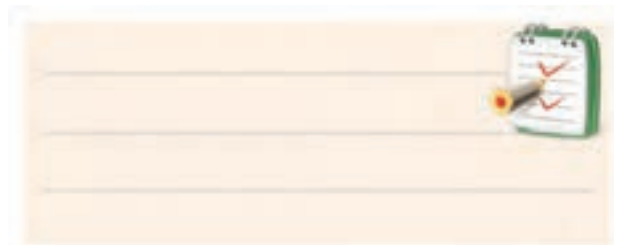


شکل ۲-۱۳۵

$$V_{R_L} = \dots\dots\dots V$$

**سوال ۲۸:** ولتاژ اندازه‌گیری شده در این دو مرحله یکی

هستند؟ چرا؟ توضیح دهید.



■ با استفاده از مولتی‌متر در حوزه‌ی کار آمپر متر dc،

جریان جاری شده در مقاومت  $R_L$  را اندازه‌گیری کنید و یادداشت کنید.

$$I_L = \dots\dots\dots A$$

■ مولتی‌متر را در حوزه‌ی کار آمپر متر به تفکیک در

مسیر پیل‌ها قرار دهید و مانند شکل ۲-۱۳۶، جریان هر یک از پیل‌ها را یادداشت کنید.

۴-۱۵-۲ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به طور اختصار شرح دهید.

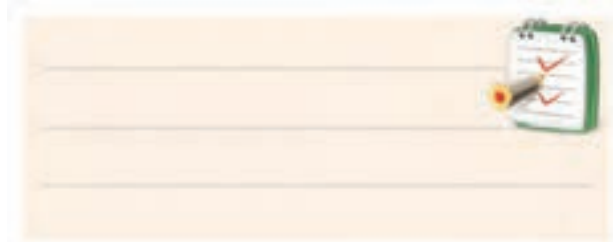
الف -

ب -

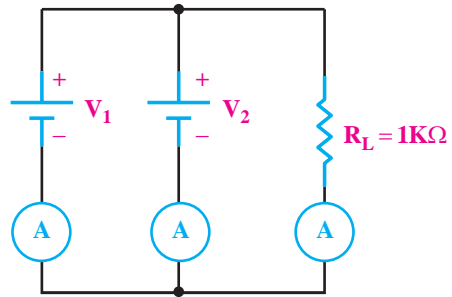
ج -

صاحب نظران علم مدیریت معتقدند: اگر ۲۰ درصد زمان خود را صرف برنامه‌ریزی کنیم، با اطمینان بیشتری در مورد ۸۰ درصد زمان باقی مانده قدم برمی‌داریم.

سوال ۳۰: آیا این ولتاژ با ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  در حالی که سه پیل با هم موازی شده بودند، یکی است؟ چرا؟ توضیح دهید.



با استفاده از آمپر متر dc جریان هر یک از شاخه‌ها را مانند شکل ۱۳۸-۲ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



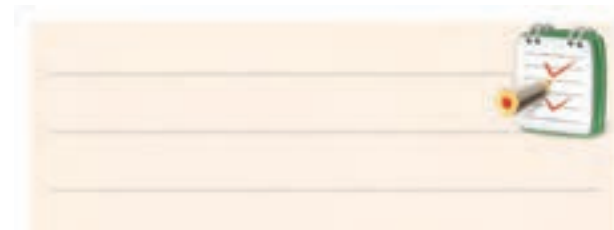
شکل ۱۳۸-۲

$$I_1 = \dots\dots\dots A$$

$$I_2 = \dots\dots\dots A$$

$$I_{R_L} = \dots\dots\dots A$$

سوال ۳۱: جریان‌های هر یک از پیل‌ها و جریان عبوری مقاومت بار در این مرحله چه تفاوتی با جریان‌های اندازه‌گیری شده‌ی مرحله‌ی قبل دارد؟ توضیح دهید.





## آزمون پایانی فصل (۲)

الف)  $2200 \Omega \pm 10\%$  (ب)  $220 \Omega \pm 10\%$

ج)  $2200 \Omega \pm 5\%$  (د)  $220 \Omega \pm 5\%$

۷- ترمیستوری را که تغییر مقاومت آن با افزایش دما نسبت مستقیم دارد،..... می گویند.

۸- مقاومت های لایه ای معمولاً از ترکیبات اکسید فلزی ..... و ..... ساخته می شوند.

۹- مقاومت هایی که در اثر افزایش دما، مقدار مقاومت شان کاهش می یابد، NTC نام دارد.

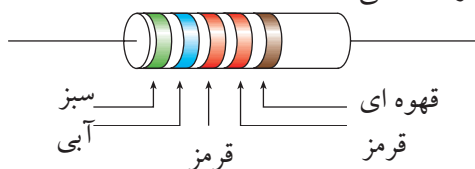
صحیح  غلط

۱۰- تolerانس مقاومت های سری E12 برابر  $10\% \pm$  است.

صحیح  غلط

۱۱- کدام گزینه مقدار اهم و تolerانس مقاومت شکل

۱۴۱-۲ را نشان می دهد؟



شکل ۱۴۱-۲

الف)  $56/2 \Omega \pm 2\%$  (ب)  $6/84 \Omega \pm 10\%$

ج)  $56/2 K\Omega \pm 1\%$  (د)  $6/84 K\Omega \pm 1\%$

۱۲- در مدارهای الکتریکی آمپر متر به صورت..... و

ولت متر به صورت..... قرار می گیرد.

الف) سری- سری (ب) سری- موازی

ج) موازی- سری (د) موازی- موازی

۱۳- ولتاژ هر پیل نیکل- کادمیوم حدود چند ولت

است؟

الف- ۱/۵ (ب) ۱/۳

ج) ۲ (د) ۱/۳۵

۱- پیل های لیتیوم چند ولتی هستند؟

الف) ۱/۲ (ب) ۱/۵

ج) ۳ (د) ۶

۲- پیل های ۱/۵ ولت کوچک (مخصوص ساعت مچی)

معمولاً از کدام نوع پیل ساخته می شوند؟

الف) آلکالین (ب) روی- کربن

ج) لیتیوم (د) اکسید نقره

۳- پیل های اولیه ی قابل شارژ..... و پیل های ثانویه قابل

شارژ.....

الف) هستند- نیستند (ب) هستند- هستند

ج) نیستند- نیستند (د) نیستند- هستند

۴- مزیت باتری های آلکالین بر باتری های روی- کربن

کدام است؟

الف) حجم کم تر (ب) ولتاژ بیش تر

ج) جریان دو تا ۵ برابر (د) جریان دهی تا صد برابر

۵- مقدار مقاومت شکل ۱۳۸-۲ کدام است؟

470RM

شکل ۱۳۹-۲

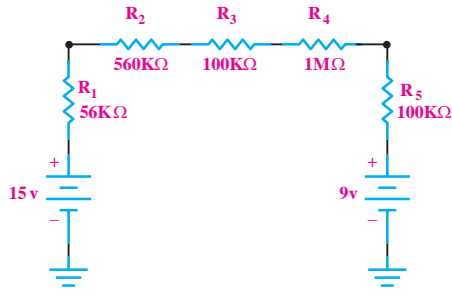
الف)  $470 \Omega \pm 20\%$  (ب)  $470 \Omega \pm 10\%$

ج)  $470 M\Omega \pm 20\%$  (د)  $470 M\Omega \pm 10\%$

۶- مقاومت معادل شکل ۱۴۰-۲ چند اهم است؟



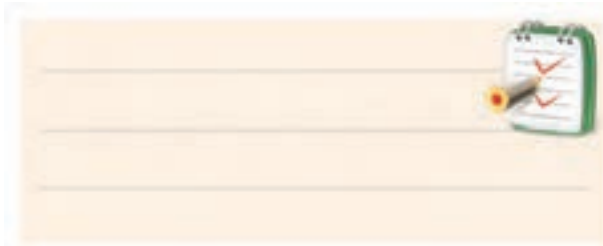
شکل ۱۴۰-۲



شکل ۲-۱۴۳

مراحل محاسبه را بنویسید.

- الف) ۳/۳      ب) ۰/۰۲  
 ج) ۰/۰۴۵      د) ۱۰



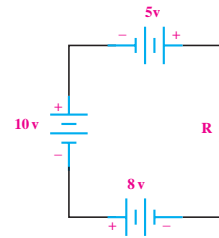
۱۴- الکتروود مثبت کدام یک از باتری‌های زیر از جنس اکسید منگنز است؟

- الف) سرب- اسید      ب) روی- کربن  
 ج) قلیایی      د) جیوه‌ای

۱۵- ولتاژ دو سر مقاومت در مدار شکل ۲-۱۴۲ چند ولت است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

- الف) ۷      ب) ۱۳  
 ج) ۱۸      د) ۲۳

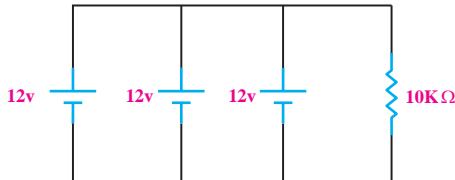


شکل ۲-۱۴۲



۱۷- توان مصرفی در مدار شکل ۲-۱۴۴ چقدر است؟

- الف) ۱/۴۴mw      ب) ۱۴/۴mw  
 ج) ۱/۴۴W      د) ۱۴/۴W



شکل ۲-۱۴۴

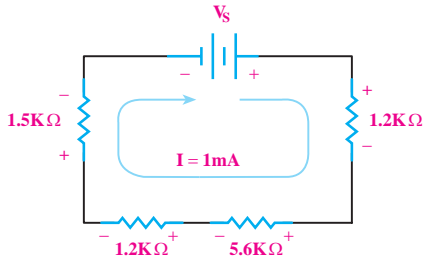
۱۸- جریان عبوری از مقاومت بار شکل ۲-۱۴۵ چند

- الف) ۱۱/۹      ب) ۶  
 ج) ۳      د) ۱۲/۴

۱۶- جریان در مدار شکل ۲-۱۴۳ چند میکرو آمپر است؟

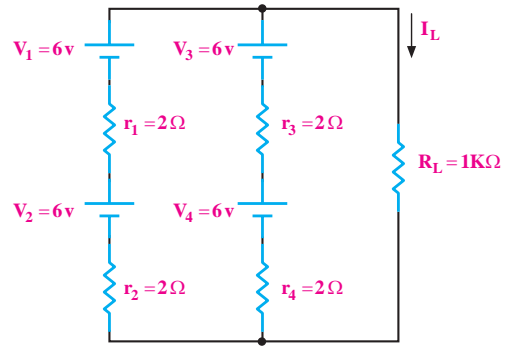
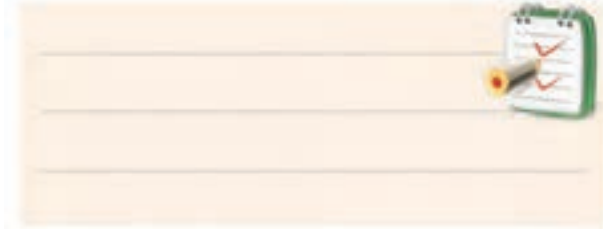
میلی آمپر است؟





شکل ۲-۱۴۷

الف) ۹/۵      ب) ۰/۹۵      ج) ۹۵      د) ۰/۰۹۵



شکل ۲-۱۴۵

۱۹- جریان عبوری از مدار شکل ۲-۱۴۶ چند میلی آمپر

است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

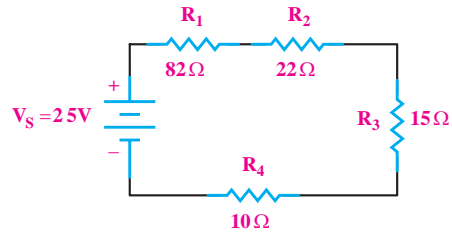
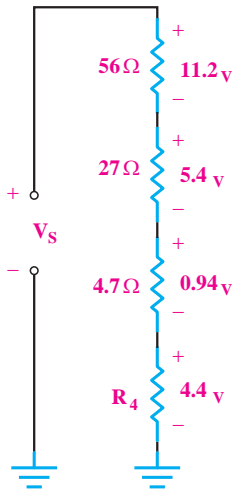
الف) ۱۹۴      ب) ۴/۸

ج) ۶/۲      د) ۵/۶

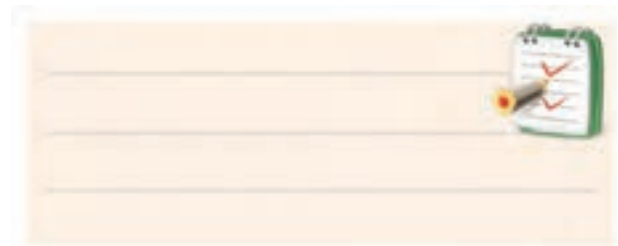
۲۱- مقدار مقاومت  $R_f$  در شکل ۲-۱۴۸ چند اهم است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

الف) ۰/۸۸      ب) ۲/۲      ج) ۲۲۰      د) ۲۲



شکل ۲-۱۴۶



۲۰- در مدار شکل ۲-۱۴۷ ولتاژ  $V_S$  چند ولت است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

